

Desarrollo de un prototipo que por medio de una placa Arduino Uno y un conjunto de sensores compatibles, permita la medición en tiempo real, local y/o remota, del potencial de hidrógeno, turbiedad, conductividad eléctrica y la temperatura del agua que se potabiliza en la planta de tratamiento privada de la institución educativa Liceo Juan Ramón Jiménez

Por:

Pablo Alejandro Julio César Aragón Patiño

Trabajo de grado tipo proyecto aplicado para optar por el título de Ingeniero de Telecomunicaciones

Director  
MSc. Iván Camilo Nieto Sánchez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD  
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI)  
Ingeniería de telecomunicaciones  
Bogotá D.C  
2021

Nota de aceptación

---

---

---

---

Jurado

Bogotá D.C. 11 de octubre de 2021

## **Agradecimientos**

Un agradecimiento muy grande al Liceo Juan Ramón Jiménez por la confianza y el apoyo para el desarrollo del proyecto.

También al ingeniero Iván Camilo Nieto Sánchez quien dirigió este trabajo con mucha dedicación y esfuerzo.

## Resumen

En este proyecto aplicado se desarrolló un prototipo para la institución educativa, Liceo Juan Ramón Jiménez, el cual permite hacer la medición local y/o remota de las variables: temperatura, potencial de hidrógeno pH, conductividad y turbiedad, por medio de las cuales se establece la calidad del agua que se trata internamente y que es consumida por más de mil personas diariamente. El prototipo consta de un de una placa Arduino Uno Rev. 3, cuatro sensores especializados (uno por cada variable) y un escudo ethernet para la conexión a la red. Este prototipo envía cada cinco segundos un arreglo con los datos ya procesados por el microcontrolador a un servidor que los almacena en una base de datos y los presenta al operario de la planta por medio de cualquier navegador web y, en caso de que alguno esté fuera de los valores permitidos por la normativa colombiana, envía un correo electrónico de alerta de forma automática. De esta forma es posible que el operario pueda tomar las medidas preventivas o correctivas que tengan lugar según sea el caso.

**Palabras clave:** telemetría, calidad del agua

## **Abstract**

In this applied project, a prototype was developed for the educational institution, Liceo Juan Ramón Jiménez, which allows local and / or remote measurement of the variables: temperature, hydrogen potential, pH, conductivity and turbidity, by means of which establishes the quality of the water that is treated internally and that is consumed by more than a thousand people daily. The prototype consists of an Arduino Uno Rev. 3 board, four specialized sensors (one for each variable) and an Ethernet shield for connection to the network. This prototype sends an arrangement with the data already processed by the microcontroller every five seconds to a server that stores it in a database and presents it to the plant operator through any web browser and, if any, is outside the values allowed by Colombian regulations, send an alert email automatically. In this way it is possible that the operator can take preventive or corrective measures that take place as the case may be.

**Key words:** telemetry, quality of water

## Tabla de Contenido

Agradecimientos .....	3
Resumen .....	4
Abstract .....	5
Lista de tablas .....	8
Lista de figuras .....	9
1. Introducción.....	11
2. Capítulo Uno – Información del proyecto.....	12
2.1 Problema de investigación.....	12
2.2 Planteamiento del problema.....	12
2.3 Pregunta problema.....	13
2.4 Justificación.....	14
2.5 Objetivos de investigación .....	16
2.5.1 Objetivo General.....	16
2.5.2 Objetivos específicos.....	16
3. Capítulo dos – Antecedentes .....	17
4. Capítulo tres – Marco teórico .....	19
4.1 El agua.....	19
4.1.1 Propiedades físicas y químicas del agua .....	19
4.1.2 Agua potable y su importancia.....	20
4.1.3 Efectos del consumo de agua contaminada en seres humanos: .....	20
4.1.4 Plantas de tratamiento de agua .....	21
4.1.5 Normativa Colombiana .....	21
4.2 Parámetros analizados según la Resolución 2115 del 22 de junio de 2007	22
4.3 Variables que se medirán en el proyecto .....	22
4.3.1 Potencial de hidrógeno.....	23
4.3.2 Conductividad .....	24
4.3.3 Turbiedad.....	24
4.3.4 Temperatura.....	25
4.4 Internet de las cosas IoT.....	25
4.5 Tecnologías de procesamiento de datos en placas y sensores basados en Arduino .....	26
4.6 Placa Arduino Uno .....	27
5. Capítulo Cuatro – Metodología .....	28
5.1 Etapa 1 - Documentación.....	28
5.2 Etapa 2 – Diseño .....	28
5.3 Etapa 3 - Programación y pruebas iniciales .....	29
5.4 Etapa 4 - Entorno de visualización .....	29
5.5 Etapa 5 - Validación/Resultados.....	30
5.6 El proceso de validación .....	30
5.7 Cronograma de actividades.....	32
5.8 Recursos.....	33

6.	Capítulo Cinco – Resultados .....	35
6.1	Elección de las variables del sistema .....	35
6.2	Diseño de la solución con base en el análisis de la información.....	35
6.3	Tecnología necesaria para la construcción e implementación del sistema de medición .....	37
6.3.1	Microcontrolador Arduino Uno original o genérico .....	37
6.3.2	Escudo ethernet (Arduino Ethernet Shield).....	39
6.3.3	Sensor de potencial de hidrógeno pH.....	40
6.3.4	Sensor de turbiedad.....	41
6.3.5	Sensor de conductividad TDS.....	42
6.3.6	Sensor de temperatura sumergible DS18B20 .....	43
6.3.7	Alimentación.....	43
6.3.8	Pantalla LCD 20x4 .....	44
6.3.9	Servidor remoto .....	45
6.3.10	Visualización .....	45
6.3.11	Protocolos de comunicación.....	46
6.4	Diseño y conexión del circuito del sistema de medición.....	46
6.5	Síntesis de la conexión.....	48
6.6	Programación del microcontrolador y procesamiento de las señales de los sensores.....	49
6.6.1	Algoritmo de funcionamiento del sistema de medición .....	49
6.6.2	Diagrama de flujo .....	50
6.6.3	Programa del microcontrolador (sketch).....	51
6.6.4	Programa en el servidor remoto .....	54
6.6.5	Presentación del prototipo real desarrollado .....	56
6.6.6	Validación del sistema (prueba completa de funcionamiento).....	59
6.7	Validación del prototipo con otro instrumento de medición.....	66
6.8	Plan de mejoras mediano plazo.....	68
6.9	Plan de mantenimiento.....	69
7.	Conclusiones.....	70
8.	Bibliografía.....	72
9.	Anexos .....	77
9.1	Proceso de calibración de sensores .....	77
9.1.1	Sensor de potencial de hidrógeno pH.....	77
9.1.2	Sensor de conductividad.....	79
9.1.3	Sensor de turbiedad.....	81
9.2	Validación del prototipo con otro instrumento de medición.....	84

## Lista de tablas

Tabla 1. Variables y valores máximos permitidos para la calidad del agua .....	22
Tabla 2. Cronograma de actividades para el desarrollo del proyecto .....	32
Tabla 3. Relación de recursos invertidos .....	33
Tabla 5. Mediciones con el prototipo y con dispositivo externo .....	66
Tabla 6. Errores relativos para el potencial de hidrógeno y la conductividad .....	67
Tabla 7. Tareas de mantenimiento del sistema de medición.....	69



## Lista de figuras

Figura 1. Escala de medición de potencial de hidrógeno pH.....	23
Figura 2. Agua con distintos niveles de turbiedad .....	25
Figura 3. Diseño general del sistema.....	36
Figura 4. Placa Arduino Uno/Genuino.....	38
Figura 5. Diagrama de pines Arduino Uno rev3. ....	38
Figura 6. Escudo Ethernet para Arduino Uno/Mega.....	39
Figura 7. Sensor de potencial de hidrógeno pH Referencia (SKU:SEN0161-V2)..	40
Figura 8. Sensor de turbiedad y relación de voltaje .....	41
Figura 9. Sensor de conductividad TDS Referencia SKU SEN0244. ....	42
Figura 10. Sensor digital de temperatura DS18B20.....	43
Figura 11. Fuente DC con salida 9V y corriente 1 <sup>a</sup> .....	44
Figura 12. Fuente para protoboard .....	44
Figura 13. Pantalla LCD 20x4 y convertidor I2C .....	45
Figura 14. Conexión del Arduino Uno con el escudo ethernet .....	47
Figura 15. Circuito de conexión del escudo ethernet y la placa Arduino Uno .....	47
Figura 16. Conexión del prototipo .....	48
Figura 17. Diagrama de flujo del sistema.....	50
Figura 18. Prototipo para la medición de la calidad del agua .....	58
Figura 19. Vista frontal del prototipo. ....	58
Figura 20. Conexión del Arduino Uno a los sensores, tierra y alimentación .....	59
Figura 21. Conexión a la fuente de alimentación. ....	59
Figura 22. Tanque de agua potable de la planta de tratamiento. ....	60
Figura 23. Prototipo midiendo calidad del agua en sitio. ....	61
Figura 24. Tabla de asignación de ip por DHCP en el firewall interno.....	62
Figura 25. Validación del envío de los datos al servidor gracias a la conexión ethernet. ....	62
Figura 26. Tabla en donde se guarda el histórico de los datos enviados desde el prototipo. ....	63
Figura 27. Tabla que actualiza los últimos datos enviados por el prototipo. ....	64
Figura 28. Aplicación web de consulta de los datos en tiempo real (red local).....	64
Figura 29. Aplicación web de consulta de los datos en tiempo real (red remota). .	65
Figura 30. Esquema de conexión del sensor de pH con el Arduino Uno.....	77
Figura 31. Buffers de calibración de pH. ....	78
Figura 32. Código de calibración del sensor de pH.....	79
Figura 33. Esquema de conexión del sensor de conductividad en TDS con Arduino Uno.....	80
Figura 34. Código de calibración del sensor de conductividad en TDS.....	81
Figura 35. Esquema de conexión del sensor de turbiedad con el Arduino Uno ....	82
Figura 36. Tarjeta interna del sensor de turbiedad. En rojo el potenciómetro de calibración .....	83
Figura 37. Código de funcionamiento del sensor de turbiedad .....	83
Figura 38. Medición de conductividad y pH día 1.....	84
Figura 39. Medición de conductividad y pH día 2.....	85

Figura 40. Medición de conductividad y pH día 2.....86  
Figura 41. Medición de conductividad y pH día 4.....89  
Figura 42. Medición de conductividad y pH día 5.....90

## 1. Introducción

A continuación, se presenta el desarrollo del trabajo de grado titulado *“Desarrollo de un prototipo que por medio de una placa Arduino Uno y un conjunto de sensores compatibles, permita la medición en tiempo real, local y/o remota, del potencial de hidrógeno, turbiedad, conductividad eléctrica y la temperatura del agua que se potabiliza en la planta de tratamiento privada de la institución educativa Liceo Juan Ramón Jiménez”*, descrito a nivel general en tres partes.

En la primera, se encuentran los elementos que fundamentan el proyecto. Iniciando con la identificación del problema, sobre la falta de mecanismos de medición eficiente de la calidad del agua que se potabiliza en la planta de tratamiento de una institución educativa que se encuentra ubicada en la zona rural de la ciudad de Bogotá; Donde es fundamental garantizar que el agua que se consume este dentro de los parámetros de calidad establecidos por la Resolución 2115 del 2007. En este sentido, se aborda la definición la calidad de agua, la cual está directamente relacionada con el conjunto de propiedades físicas, químicas, biológicas y los rangos permitidos que la hacen apta para el consumo humano. En particular, este proyecto aborda la medición de la temperatura, la conductividad, el potencial de hidrógeno pH y la turbiedad.

En la segunda, se aplica la metodología iterativa incremental enfocada a objetivos para la cual se desarrollan cinco etapas: La etapa 1, corresponde al análisis de la documentación sobre las variables estudiadas y la tecnología necesaria para llevar a cabo el proyecto; La etapa 2 aborda el diseño general de la solución incluyendo la conexión de los sensores y el circuito; La etapa 3, establece la programación del microcontrolador para el procesamiento y envío de los datos; La etapa 4, aborda el desarrollo de la interfaz de visualización de los datos para el operario de la planta; La última etapa, define el proceso de validación.

En la tercera, se presentan los resultados de la implementación del sistema de medición en el cual se usa una placa de Arduino Uno y los sensores para medir las cuatro variables mencionadas anteriormente, acorde con la metodología. En general, se hicieron las mediciones respectivas y se encontró que el dispositivo funciona según los parámetros establecidos, de manera que la información puede ser consultada en tiempo real, local o remotamente por el operario de la planta, quien puede tomar las acciones preventivas o correctivas, en caso de que una o más de las mediciones se salga de los rangos permitidos por la normativa vigente.

## **2. Capítulo Uno – Información del proyecto**

### **2.1 Problema de investigación**

En este capítulo se abordan los aspectos que dan fundamento a este proyecto aplicado, partiendo desde la identificación y análisis de la problemática objeto de estudio, la cual es, en términos generales, el desarrollo y uso de herramientas, enmarcadas dentro de las tendencias en tecnologías e Internet de las Cosas IOT, que permitan evaluar la calidad del agua para el consumo seguro de seres humanos. De igual forma se establece la importancia del desarrollo del proyecto y definen los objetivos que permitirán dar respuesta al problema y a la pregunta orientadora del trabajo.

### **2.2 Planteamiento del problema**

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el acceso al agua potable es considerado como uno de los derechos humanos básicos, debido a la importancia que tiene en materia de higiene, salud pública, calidad de vida y sostenibilidad (OMS, 2006, p 13). Según cifras oficiales, en 2015, 844 millones de personas en el mundo carecieron de suministro básico de agua potable y 2000 millones lo hicieron de fuentes de agua potable contaminada por heces (OMS, 2019).

En muchas zonas rurales del país es muy común la falta de agua potable proveniente de alguna empresa de servicios públicos, debido, generalmente, a que las redes de acueducto y alcantarillado solo cubren, por lo general, a las cabeceras municipales, de hecho, según los indicadores del censo 2018, la cobertura de acueducto a nivel nacional fue de aproximadamente el 86.6% (Sánchez, 2020). Esta situación ha hecho que en muchos de estos sitios se obtenga el agua de afluentes naturales cercanos o pozos profundos, la cual, se ingiere de forma casi directa, a lo sumo se hierva y eliminan algunos microorganismos. Dado que esta agua no cuenta con el tratamiento idóneo para ser consumida por estas personas, esto puede causar diferentes afecciones de salud, como la diarrea, el cólera, la disentería, fiebre tifoidea y la poliomielitis entre otras.

Además de las enfermedades producto del consumo de agua contaminada por microorganismos, algunas propiedades físicas y químicas como el nivel de potencial de hidrógeno pH, la conductividad y la turbiedad son determinantes para

la salud. Consumir agua ácida (pH inferior a 6.5) por ejemplo, promueve el desarrollo de acidosis metabólica, afección en la que existe exceso de ácido en los líquidos del cuerpo y produce náuseas, vómito, fatiga, respiración irregular, entre otros efectos negativos (Lewis, 2020).

Por lo anterior, distintas empresas ubicadas fuera de zonas de cobertura del servicio básico se han visto en la necesidad de implementar sus propias plantas de adquisición y tratamiento de agua, cuya calidad es permanentemente evaluada por las autoridades competentes (Secretarías de Salud) y están sujetas a los parámetros de calidad establecidos en la Resolución 2115 de 2007.

Esta situación pone en evidencia la necesidad de contar con un mecanismo de medición eficiente de variables asociadas a la calidad del agua, con el objetivo de mantener informado al operario de la planta de los valores de dichas variables, de forma que este pueda tomar las medidas correctivas necesarias (si es posible) cuando una o varias de estas se salgan de los límites permitidos. Esto permitirá por un lado cumplir con la calidad exigida por las autoridades de control y, por otro lado, que los usuarios finales tengan siempre agua potable para su consumo.

### **2.3 Pregunta problema**

Con base en la problemática expuesta anteriormente se plantea la siguiente pregunta orientadora:

¿De qué manera el desarrollo de un prototipo para la medición de la conductividad eléctrica, el potencial de hidrógeno, la turbiedad y la temperatura, utilizando tecnologías de Internet de las Cosas IoT, contribuye al proceso de evaluación de la calidad del agua previo a su consumo y, por ende, a la salud y calidad de vida de las personas?

## 2.4 Justificación

El acceso al agua potable se ha convertido en un aspecto de gran importancia en las políticas gubernamentales a nivel mundial, siendo cada vez más los esfuerzos por implementar medidas reales que permitan no solo ampliar la cobertura de las redes de suministro del líquido, sino que la calidad de este cumpla con los estándares internacionales establecidos por la Organización Mundial para la Salud.

A lo largo de la historia se han hecho evidentes las implicaciones que tiene para la salud el consumo de agua contaminada, así, por ejemplo, enfermedades como el cólera, azotaron al mundo occidental en la década de 1830 y aún, hoy en día, sigue cobrando miles de vidas cada año. En 1900, en Estados Unidos de Norteamérica murieron más de 35000 personas por tifoidea (Hill, 1999, p 330). Datos más recientes señalan que en promedio mueren más de 500.000 personas por año por diarrea producto del consumo de agua contaminada (OMS, 2020). Esta es una de las principales razones que motivan el estudio de esta temática.

Con base en los lineamientos de la OMS, en Colombia, es el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial quien por medio de la Resolución 2114 del 22 de junio de 2007 establece y vigila todo lo relacionado con la calidad del agua para consumo humano de la población.

El proyecto que se presenta está enfocado al desarrollo de un prototipo, que por medio de tecnologías enmarcadas dentro del IoT (Internet of Things), permite medir de forma eficiente algunas de las variables asociadas a la calidad de agua, particularmente, el agua que se consume en las instalaciones del Liceo Juan Ramón Jiménez, empresa del sector educativo ubicada en la zona rural de la ciudad de Bogotá, la cual no cuenta con suministro de agua potable proveniente de la red de acueducto, y que, por medio de una planta de tratamiento propia, obtiene y procesa toda el agua que requiere a diario.

Actualmente, el Liceo Juan Ramón Jiménez requiere de un sistema de medición de la calidad del agua que trata internamente y con la que abastece a más de mil personas por día. Sumado a lo anterior, es sujeto de visitas regulares por parte la Secretaría de Salud Pública del distrito, quienes toman y analizan muestras del agua y determinan si esta cumple con los parámetros establecidos, lo cual puede acarrear sanciones económicas e incluso el sellamiento del establecimiento. Es por esto que el proyecto surge como una necesidad de resolver esta problemática en particular, que, por supuesto, no está desligada de una problemática mucho más grande, que afecta a millones de personas.

Este prototipo y el estudio que se hará podría ser implementado en distintos escenarios en los cuales es pertinente o necesario evaluar la calidad de agua como: plantas de tratamiento públicas y privadas, proyectos de agricultura, industria, ganadería, etc. Sin mencionar, los miles de personas que obtienen el agua de pozos profundos, nacederos, ríos y quebradas para abastecer sus hogares, situación muy frecuente en el campo, particularmente, el campo colombiano.

## **2.5 Objetivos de investigación**

### **2.5.1 Objetivo General**

Desarrollo de un prototipo para evaluar la calidad del agua en una planta de tratamiento privada, por medio de la medición del potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, turbiedad y temperatura, haciendo uso de tecnologías emergentes e Internet de las Cosas.

### **2.5.2 Objetivos específicos**

- Determinar las condiciones de evaluación de las variables relacionadas con la calidad del agua que serán medidas con base en la disponibilidad de sensores y las necesidades de la empresa.
- Determinar la tecnología necesaria relacionada a los sensores, actuadores y demás elementos para la medición de las variables establecidas, de acuerdo con las necesidades del proyecto.
- Desarrollar el prototipo para la medición de las variables del agua y la interfaz de usuario donde se presentarán los datos, construyendo una solución acorde a las tecnologías emergentes.
- Validar el funcionamiento del prototipo a partir de pruebas en el sitio donde se evidencie el comportamiento de la solución de conformidad con la normatividad existente.



### 3. Capítulo dos – Antecedentes

El uso de tecnologías enmarcadas dentro del IoT (Internet of Things) ha crecido de forma acelerada en la última década (Mello, 2021). Cada vez es más frecuente encontrar dispositivos de uso común que ahora están conectados a redes de intranet e internet, los cuales se pueden manipular y accionar de forma remota. Sumado a esto, el crecimiento de redes inalámbricas de media y baja potencia como: Zigbee, WiFi, redes móviles, entre otras, amplió la gama de aplicaciones del IOT a áreas como la medicina, la automatización, la robótica y la agricultura, donde se encuentran cada vez más proyectos enfocados a monitorear e incluso controlar las distintas variables de cada sistema en particular: presión, temperatura, voltajes, corrientes, humedad, etc.

Dentro del campo de la agricultura, por ejemplo, encontramos proyectos como el de (Luna, 2020) en donde se diseñó un sistema de monitoreo de variables climatológicas para cultivos de aguacate por medio de tecnologías IoT. (Martínez, 2020) desarrolló un sistema de control para las variables humedad relativa, temperatura y pH para la propagación vegetativa por medio sensores compatibles con IoT y lograr determinar la reproducción vegetativa que mejor pueda aprovechar el terreno para la cosecha de frutas de la región (Rojas, 2020).

Uno de los campos de aplicación de tecnologías IoT en donde todavía falta mucho por explorar, es, justamente, el de la calidad de agua. Existe mucha literatura que habla sobre la importancia del tratamiento adecuado del agua para consumo humano, animal y para cultivos, incluso, estudios como el de (Rojas, 2020) muestra un análisis a gran escala de la calidad de agua potable en el departamento de Boyacá entre el año 2016 y 2019, donde se realizó el seguimiento de 522 acueductos para determinar el índice de riesgo de calidad de agua IRCA, el cual es determinante para establecer la probabilidad de que una población determinada se contagie con alguna enfermedad asociada al consumo de agua. Sin embargo, proyectos de aplicación de tecnologías inalámbricas, sensores y microcontroladores son pocos en el país.

Algunos de los trabajos que se encontraron al respecto son el de (Landazábal, 2017) en donde se hizo el prediseño de una red automática de monitoreo de la calidad del agua del río Cauca. En este trabajo se analizaron los mejores sitios para realizar el monitoreo con base en las condiciones de conectividad, seguridad, caudal, etc. Se definieron los sistemas de soporte de sensores, de alimentación eléctrica, lectura y almacenamiento de datos, sistema de transmisión de datos, sin llegar a realizar ningún montaje o pruebas de funcionamiento.

(Blanco, 2020) realizó una revisión detallada de sistemas de telemetría en ríos, enfocada al río Magdalena, identificando las variables más relevantes a monitorear, las tecnologías utilizadas y algunos casos en concreto.

(Arévalo, 2018) construyó un prototipo para realizar monitoreo de la calidad de agua subterránea en una localidad rural de un municipio de Boyacá, en la cual utilizó sensores de temperatura, turbidez, pH y GPS conectado a una placa Arduino Uno con conectividad inalámbrica a internet. Este sistema permitió la medición en tiempo real de dichas variables y dar un estimado de la calidad de agua extraída del pozo subterráneo.

Estos proyectos son apenas una pequeña parte de la gran cantidad de aplicaciones de las placas de hardware libre en distintas áreas del conocimiento, la industria y la tecnología, y, de igual forma, sirven como punto de partida para el desarrollo de soluciones de mayor complejidad y más eficaces a problemas reales de gran interés, como lo es, en este caso, el monitoreo de la calidad del agua para consumo humano.

## 4. Capítulo tres – Marco teórico

### 4.1 El agua

En este capítulo se abordan los conceptos teóricos que orientan el desarrollo del proyecto aplicado, en donde se hace relevante identificar en primer lugar las propiedades físicas y químicas del agua, y su importancia con base en los efectos que produce el consumo de esta cuando no es potable. Dado que el prototipo será usado en una planta de tratamiento plenamente reconocida y vigilada por las autoridades sanitarias de la ciudad de Bogotá, es fundamental reconocer la normativa que aplica al caso (resolución 2115 del 22 de junio de 2007) de forma. Más adelante se definen en detalle las variables que serán medidas por el prototipo, las cuales están presentes en la resolución mencionada, junto con los rangos de valores permitidos. Finalmente, dado que el prototipo está enmarcado dentro de las tecnologías emergentes como redes de internet, microcontroladores, y placas de hardware libre como Arduino Uno es importante describir el funcionamiento de esto.

#### 4.1.1 Propiedades físicas y químicas del agua

El agua es un fluido, que estado puro, está compuesto por moléculas de H<sub>2</sub>O, dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por medio de enlaces de hidrógeno. Se presenta en la naturaleza en tres formas distintas: entre 0 y 100 grados Celsius (líquido), por debajo de 0 grados Celsius (sólido/hielo) y por encima de los 100 grados Celsius en estado gaseoso (vapor de agua).

Dentro de las propiedades físicas del agua se encuentran (Pradillo, 2016):

- Es la única sustancia en la naturaleza que se presenta en los tres estados de la materia: líquido, sólido y gaseoso.
- No tiene olor, sabor o color.
- Tiene una capacidad calorífica alta, lo que significa que requiere absorber grandes cantidades de energía para elevar su temperatura. La capacidad calorífica del agua es:  $4.184 \text{ Jcm}^{-3}\text{K}^{-1}$ .
- Su tensión superficial es alta, aproximadamente 72 dinas/cm a 25 grados Celsius.

Con relación a las propiedades químicas se tiene (Hill, 1999, p 325):

- Debido a la configuración geométrica de sus enlaces la molécula tiene polaridad lo que hace posible hasta cuatro enlaces de hidrógeno con moléculas aledañas.
- Se considera un solvente universal ya que en esta es posible disolver una gran cantidad de compuestos en distintos estados de la materia.
- En su estado puro, tiene un pH neutro de 7, lo que implica que no es ni básica ni ácida.

- En su estado no puro se encuentran disueltos en ésta todo tipo de compuestos y organismos, como minerales, partículas sólidas y microorganismos.

#### **4.1.2 Agua potable y su importancia**

El planeta tierra se considera como el único en todo el sistema solar que cuenta con suficiente cantidad de agua para albergar vida en él, y aunque más de tres cuartas partes están cubiertas por esta, aproximadamente un 2% puede llegar a ser apta para el consumo (Hill, 1999, p 237). Lo anterior no implica además que ese pequeño porcentaje sea en su totalidad susceptible de ser ingerido de forma directa. Por sus propiedades como disolvente universal, especialmente de sustancias iónicas, el agua disuelve minerales, sales, partículas suspendidas en tierra y aire, entre otras cosas. Siendo estos los primeros agentes de contaminación.

De igual forma, existen numerosos agentes que son causales de contaminación del agua, dentro de los que se destacan el vertimiento o filtración de desechos: industriales, agrícolas, químicos, basuras, sin mencionar, la presencia de gran variedad de microorganismos que proliferan y ocasionan enfermedades que en miles de casos conllevan a la muerte (OMS, 2019).

Según la Organización Mundial de la Salud se calcula que al año mueren en promedio más de 502.000 persona por diarrea debido al consumo de agua contaminada, cifra que es sin duda alarmante y frente a lo cual se deben tomar medidas exhaustivas por parte de los gobiernos para garantizar que el agua potable esté al alcance de todas las personas.

#### **4.1.3 Efectos del consumo de agua contaminada en seres humanos:**

Cuando se habla de agua contaminada, se refiere en general a dos posibles situaciones:

- Valores de una o más de sus propiedades físicas o químicas fuera de los máximos permitidos según las normas establecidas para cada población.
- Presencia de microorganismos que pueden ocasionar efector adversos una vez que se consume. Siendo esta última la mayor causante de problemas de salud en la población.

Algunas de las enfermedades más frecuentes en la población que consume agua contaminada según la Organización Mundial de la Salud son:

- La esquistosomiasis: enfermedad grave provocada por lombrices parasitarias, debida principalmente al consumo de agua contaminada con heces humanas infectadas por el parásito (*Schistosoma mansoni* en las Américas) (OPS, 2021).
- Colera: enfermedad infectocontagiosa del intestino provocada principalmente por los serotipos O1 y O139 de una bacteria llamada *Vibrio cholerae* (Mayo Clinic, 2021). Se manifiesta por medio de diarrea acuosa en abundancia que ocasiona altos grados de deshidratación en el cuerpo.
- Disentería: consiste en la inflamación del intestino, principalmente el colon. Dentro de sus principales síntomas está la fiebre y la diarrea con presencia de moco y sangre en las heces, esta enfermedad, al igual que el cólera, puede ocasionar la muerte del paciente (Nmhealth, 2018).
- Fiebre tifoidea: consiste en una infección que provoca diarrea y erupciones en la piel. Se debe principalmente a una bacteria llamada *Salmonella typhi* (Sánchez-Monje, 2021).

#### **4.1.4 Plantas de tratamiento de agua**

Las plantas de tratamiento de agua están diseñadas para procesar el agua que proviene de distintas fuentes como represas, ríos, cuencas y pozos profundos, y volverla apta para el consumo humano.

En Bogotá, a mediados del siglo pasado, el crecimiento acelerado de la población promovió el nacimiento del primer megaproyecto para el abastecimiento de agua potable, denominado Sistema Chingaza (EAAB, 2021). En 1956 inicia la construcción de la planta de tratamiento Tibitoc, la que sería la principal infraestructura del sistema de acueducto de la ciudad de la época llegando a tener una capacidad de 10.4 metros cúbicos de agua por segundo. En la actualidad la ciudad cuenta con cinco plantas de tratamiento de agua, las cuales abastecen a los casi 7.2 millones de habitantes e incluso a poblaciones cercanas como la Calera.

#### **4.1.5 Normativa Colombiana**

En la actualidad, la resolución 2115 del 22 de junio de 2007 establece “*las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*”, a la cual deben acogerse todas las plantas de tratamiento de agua públicas y privadas del país.

La resolución mencionada, en el capítulo dos, define las características física y químicas del agua para consumo humano, algunas de las cuales son el objeto fundamental de estudio de este proyecto. Se mencionarán inicialmente las que se consideran más relevantes y que son evaluadas de forma periódica por los organismos de control.

#### 4.2 Parámetros analizados según la Resolución 2115 del 22 de junio de 2007

*Tabla 1. Variables y valores máximos permitidos para la calidad del agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor aceptado</b>
pH	6.5 – 9.0 unidades
Turbiedad	Max. 2 UNT
Conductividad	Max. 1000 $\mu$ S/cm o 500ppm (TDS)
Color	Max. 15 UPC
Cloro residual libre	0.3 a 2.0 mg/L
Alcalinidad total	Max. 200mg/L CaCO <sub>3</sub>
Dureza total	Max. 300mg/L CaCO <sub>3</sub>
Fosfatos	Max. 0.5 mg/L PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
Hierro total	Max. 0.3 mg/L Fe
Manganeso	Max. 0.1 mg/L Mn
Nitritos	Max. 0.1 mg/L NO <sup>-2</sup>
Coliformes total	Presencia/ausencia
Escherichia Coli	Presencia/ausencia

#### 4.3 Variables que se medirán en el proyecto

Como se mencionó anteriormente, este es un proyecto que se desarrolló para y con el financiamiento del Liceo Juan Ramón Jiménez, lo cual significa que la decisión de qué variables debían ser medidas tuvo que considerar aspectos como: la necesidad particular de la empresa, el presupuesto otorgado y los sensores disponibles en el mercado. Desde donde se desprende igualmente el tipo de tecnología y de microcontrolador a usar.

Después de realizar diversas búsquedas de sensores para la medición de variables del agua, se identificaron a grandes rasgos dos grupos. El primer grupo lo conforman sensores muy especializados, que permiten la medición de una gama muy amplia de parámetros de forma descentralizada e independiente (Dastec, 2021). Estos sensores, si bien ofrecen altos niveles de precisión, también suelen ser costosos y no permiten, necesariamente ser integrados en un solo sistema de

administración y consulta de datos. El segundo grupo de sensores, están diseñados para ser compatibles con placas de hardware libre como Arduino Uno y tienen la particularidad de ser de bajo costo en comparación con los sensores del primer grupo. Una de las principales desventajas de este último grupo de sensores es que son limitados con relación a la gran cantidad de variables sujetas a comprobación, especialmente las relacionadas con concentraciones químicas. Para ser más específicos, se encuentran disponibles en el mercado sensores de: potencial de hidrógeno, conductividad en TDS, turbiedad, temperatura, flujo de agua y nivel de agua, siendo, las cuatro primeras, indicadoras de la calidad del agua y el objeto de estudio de este proyecto.

### 4.3.1 Potencial de hidrógeno

También conocida como alcalinidad o acidez, se refiere a las concentraciones de iones de hidronio de una solución (Hill, 1999, p 186). Así, por ejemplo, si una sustancia tiene una concentración de iones de hidronio de  $1 \times 10^{-7}$  moles por litro se dice que su pH es 7, lo que justamente se refiere al pH del agua pura. De esta forma se define la escala de pH donde los valores van desde 0 a 14, siendo 7 un pH neutro. Por debajo de 7 son consideradas ácidas y por encima básicas. Con relación a la calidad del agua, el nivel de pH es importante ya que algunos procesos químicos sólo se dan a determinados valores (Lenntech, 2021).



Figura 1. Escala de medición de potencial de hidrógeno pH.

Fuente:

[https://www3.epa.gov/acidrain/education/site\\_students\\_spanish/phscale.html](https://www3.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html)

### 4.3.2 Conductividad

La conductividad eléctrica es la capacidad de un elemento para permitir el flujo de cargas eléctricas a través de este. También es una medida de la concentración de iones disueltos en una sustancia (Boyd, 2017). El agua en su estado puro no contiene iones disueltos por lo que su conductividad es muy baja. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad se mide en siemens por centímetro S/cm, aunque una medida más acorde son los micro siemens  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El agua pura tiene una conductividad de  $5.5\mu\text{S}/\text{m}$ . En agua dulce, muchas veces se utiliza la cantidad de total de sólidos disueltos (TDS) presentes como una medida indirecta de la conductividad, las cuales tienen una relación de equivalencia.

En grados americanos se cumple:

$$\frac{2\mu\text{S}}{\text{cm}} = 1\text{ppm (partes por millón de CaCO}_3\text{)}$$

### 4.3.3 Turbiedad

La turbiedad o turbidez es una medida de la pérdida de transparencia del agua debido a la concentración de partículas suspendidas en esta, algunas de las más comunes, arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica, así como otros microorganismos microscópicos (Carpio, 2007). Se considera a la turbiedad como un fenómeno óptico relacionada con la dispersión de la luz en presencia de partículas lo que hace que sea absorbida en lugar de transmitida a través del líquido. Mientras mayor sea la cantidad de sólidos en estado de suspensión mayor será la turbiedad, por esta razón es un buen indicador de la calidad del agua ya que permite establecer los niveles de filtrado necesario para volverla apta para el consumo humano. La turbiedad se mide en NTU's (Nephelometric Turbidity Unit). Según la Organización Mundial de la Salud, el valor máximo de turbiedad del agua para consumo humano es de 1 NTU (Lenntech, 2021), sin embargo, dentro de la normativa colombiana, el valor máximo de la turbiedad es de 2 NTU.





*Figura 2. Agua con distintos niveles de turbiedad*

Fuente: <https://flowen.com.pe/site/turbidez-en-el-agua/>

#### **4.3.4 Temperatura**

Desde el punto de vista de la teoría cinético molecular, la temperatura en una medida de la energía interna de un sistema producto del movimiento de las moléculas que lo componen (Olmo, 2017). Un sistema que recibe energía en forma de calor aumentará el movimiento o la agitación de sus componentes, lo que aumenta la energía interna, y, por ende, la temperatura. Las unidades de la temperatura son, grados Celsius, grados Fahrenheit y Kelvin. Los distintos estados de la materia en la que se encuentra el agua dependen enteramente de las condiciones de temperatura de esta, así, por ejemplo, a nivel del mar la temperatura de ebullición es de 100 grados Celsius, sin embargo, este valor disminuye conforme la presión atmosférica lo hace.

Con relación al tratamiento y almacenamiento de agua potable, se considera que la temperatura debe permanecer siempre por debajo de los 15 grados Celsius, para evitar el desarrollo de microorganismos perjudiciales para la salud (Pradillo, 2016). De igual forma, la solubilidad del agua depende de la temperatura, a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa.

#### **4.4 Internet de las cosas IoT**

Existen distintas interpretaciones o definiciones de lo que es el Internet de las Cosas (IoT) o Internet Of Things. En términos simples, IoT se conoce como una

infraestructura que es capaz de auto configurarse y que funciona con base en protocolos y estándares que permiten que distintos objetos de uso común, e incluso no común, se puedan integrar a las redes de datos e interactuar entre ellos (Abaladejo, 2017, pp 31).

Dentro del mundo del IoT existen tres elementos o dispositivos que son fundamentales:

- **Sensores:** permiten la recolección de todo tipo de datos, que, por lo general, son variables físicas y químicas que serán enviadas entre dispositivos, hacia servidores locales o remotos.
- **Actuadores:** son dispositivos que tienen la capacidad de realizar alguna acción, que puede ser ejecutada con base en un valor o rango de valores de un sensor, por ejemplo: apertura de una ventana con base en la temperatura de un cuarto.
- **Microcontroladores:** los microcontroladores son circuitos integrados programables que tienen la capacidad de procesar y almacenar información digital, así como de interactuar con elementos externos (Hernández, 2014). Así por ejemplo un microcontrolador puede verse como un conjunto de microprocesador CPU, memoria de datos tipo RAM, memoria programable tipo ROM/EPROM/EEPROM/Flash, convertidor Análogo/Digital, oscilador, temporizadores, líneas de comunicación serial, líneas E/S para comunicación externa, principalmente.

Algunas de las familias más comunes de microcontroladores son: Freescale, Microchip con sus PICS y ATMEL, estos últimos, muy utilizados en placas de hardware como Arduino.

#### **4.5 Tecnologías de procesamiento de datos en placas y sensores basados en Arduino**

Una de las principales ventajas del uso de tecnologías inalámbricas, combinadas con placas de desarrollo libre, es la flexibilidad y variedad de proyectos de telemetría que se pueden desarrollar gracias a la compatibilidad con gran cantidad de sensores disponibles en el mercado, que además son por lo general, de bajo costo. Tal vez el más reconocido es Arduino, el cual, es toda una plataforma de desarrollo que se basa en una placa electrónica de hardware libre que cuenta con un microcontrolador que se puede reprogramar, y un conjunto de conectores

hembra para la conexión de todo tipo de elementos electrónicos como resistencias, leds, potenciómetros, y una variedad de sensores y actuadores analógicos y digitales (Arduino, 2021). En el mercado existen distintas versiones oficiales (y no oficiales) de placas Arduino, que responden a necesidades particulares del usuario, una de las más populares, el Arduino Uno, que utiliza un microcontrolador ATmega328 de la compañía Atmel.

Estos microcontroladores utilizan una arquitectura tipo AVR, los cuales están basado en la arquitectura Harvard. Estos cuentan con procesadores de doble bus, uno para leer las instrucciones que se ejecutan y otro bus para leer y escribir los datos (López, 2016).

#### **4.6 Placa Arduino Uno**

La placa Arduino Uno está compuesta por un microcontrolador basado en el popular chip ATmega 328P, el cual cuenta con catorce pines digitales que pueden ser configurados como entradas o salidas, donde seis de estas pueden ser utilizadas como salidas PWM, también cuenta con seis entradas analógicas, un resonador cerámico, puerto USB, entrada de alimentación, una cabecera ICSP y botón de reseteo (Arduino, 2021). Esta placa, que es muy popular en el mercado, se caracteriza por ofrecer un primer escenario para los que inician en el desarrollo de todo tipo de proyectos de electrónica y robótica, gracias a su versatilidad y entorno de programación amigable con el usuario.

Por medio de los pines incorporados es posible conectar una gran variedad de dispositivos y sensores como: leds, potenciómetros, fotorresistencias, gran variedad de sensores, otros módulos como: GSM, bluetooth, GPS, pantallas lcd, escudo ethernet, escudo Xbee, entre muchos más.

## 5. Capítulo Cuatro – Metodología

Acorde con el objetivo general de este trabajo y en respuesta a la pregunta orientadora, la metodología que se utilizará es el método iterativo incremental orientado a objetivos (Videla, 2021), la cual permite retomar algunos procesos en distintas etapas y realizar ajustes, correcciones o mejoras en caso de ser requerido. Las etapas en las que se divide el desarrollo del proyecto son:

### 5.1 Etapa 1 - Documentación

Esta primera etapa comprende una serie de actividades enfocadas a dar sustento teórico al proyecto, en donde se aborda un análisis más profundo de la problemática y la revisión del marco conceptual, haciendo énfasis en la definición de *calidad del agua* desde el punto de vista de normativa vigente para Colombia (Resolución 2115 del 22 de junio de 2007). De igual forma, esta etapa de documentación permite identificar el conjunto de variables que se medirán, sus características principales y el tipo de sensores disponibles en el mercado, los cuales deberán ajustarse a las necesidades puntuales de la empresa. En este orden de ideas las actividades específicas que comprenden esta etapa y que dan respuesta al primer y segundo objetivo específico son:

- Análisis del problema y revisión de marco teórico
- Determinación de las variables que se medirán.
- Redacción del documento

### 5.2 Etapa 2 – Diseño

Esta segunda etapa tiene como base la información recogida en la etapa de documentación, en donde, una vez establecidas las variables a medir y el conjunto de sensores disponibles, se inicia el proceso de selección de la tecnología requerida para dar solución al problema, siendo fundamental escoger el microcontrolador, los sensores de medición, el tipo de conectividad a la red y la plataforma de visualización de las variables para el operario de la planta de tratamiento de agua de la empresa. Esta etapa comprende además el diseño del circuito, un primer proceso de calibración de sensores y se inicia la programación del microcontrolador. De esta forma se desarrollan el segundo y parte del tercer objetivo específico. Las tareas puntuales de esta etapa son:

- Determinación de la tecnología necesaria para la medición de las variables
- Diseño del circuito y calibración de sensores
- Programación del microcontrolador
- Redacción del documento

### **5.3 Etapa 3 - Programación y pruebas iniciales**

En esta etapa se continua con el proceso de programación del microcontrolador, evaluando posibles errores, lo cual permitirá hacer pruebas iniciales del funcionamiento del prototipo, relacionadas con la lectura y procesamiento de los datos recibidos desde los sensores. De igual forma se realizan pruebas de conectividad a la red por medio del protocolo y el direccionamiento ip respectivo. Las actividades específicas, que responden a parte del tercer objetivo específico son:

- Programación del microcontrolador
- Pruebas iniciales de funcionamiento y conectividad
- Redacción del documento

### **5.4 Etapa 4 - Entorno de visualización**

Siguiendo con el desarrollo del tercer objetivo específico, en esta etapa se desarrolla el sistema de visualización de las variables, lo cual involucra la instalación y configuración del servidor remoto (Web/Base de datos) y la construcción del dispositivo real según el diseño realizado. De igual forma, esta etapa comprende pruebas de funcionamiento y conectividad del prototipo fuera de la red de la empresa, siendo fundamental para identificar posibles errores en la programación, calibración o conexiones internas. Las tareas de esta etapa son:

- Instalación del servidor de base de datos y web
- Creación de la base de datos que almacenará los datos procesados y creación de la aplicación web de consulta.
- Desarrollo del prototipo

- Pruebas de funcionamiento y conectividad
- Redacción del documento

### **5.5 Etapa 5 - Validación/Resultados**

Con el fin de establecer que el sistema en conjunto funciona de manera adecuada y que responde a la problemática objeto de estudio, se plantea en esta etapa la validación sistemática de la solución por medio de mediciones sucesivas (una cada día durante una semana) de una muestra de agua tratada en la planta de la empresa y estando conectado el prototipo a la red LAN. De manera general las tareas que definen esta etapa son:

- Calibración de los sensores
- Validación del funcionamiento a partir de pruebas en sitio
- Toma de evidencias
- Redacción del documento

### **5.6 El proceso de validación**

El proceso de validación del sistema de medición se compone de los siguientes elementos:

1. Conexión de la placa a la red LAN de la empresa por medio del escudo ethernet.
2. Conectividad del dispositivo con el servidor web y de base de datos
3. Envío de la información al servidor de base de datos
4. Visualización de los datos mediante un navegador web desde la red LAN
5. Visualización de los datos mediante un navegador web desde internet por medio de la dirección ip pública de la empresa

6. Calibración de los sensores y medición de las cuatro variables de una muestra de agua después de pasar por el proceso de potabilización. Comparación de los resultados con los valores permitidos dentro de la norma.

Una vez que se han concluido de manera satisfactoria el proceso de validación es posible afirmar que el sistema de medición responde o da solución al problema planteado, el cual se puede resumir en la ausencia de un sistema de medición eficiente para las variables asociadas a la calidad del agua.

## 5.7 Cronograma de actividades

En la siguiente tabla se observa el cronograma que se debe seguir para cumplir con las etapas cinco etapas de la metodología, y, por consiguiente, con el desarrollo completo de los objetivos del proyecto.

*Tabla 2. Cronograma de actividades para el desarrollo del proyecto*

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>MES 1</b>	<b>MES 2</b>	<b>MES 3</b>	<b>MES 4</b>	<b>MES 5</b>	<b>MES 6</b>
Análisis del problema y revisión de marco teórico	X					
Determinación de las variables a medir y la tecnología necesaria para hacerlo.	X	X				
Diseño del circuito y calibración de sensores	X	X				
Programación del microcontrolador y pruebas fuera de sitio		X	X			
Parametrización de la plataforma de visualización web y pruebas de conectividad			X	X		
Desarrollar el prototipo con base en los sensores escogidos y el circuito diseñado				X	X	
Validar el funcionamiento del prototipo por medio de pruebas en sitio.					X	X
Redacción del documento	X	X	X	X	X	X



## 5.8 Recursos

En la siguiente tabla se presenta una relación estimada de los recursos que se invirtieron para el desarrollo del proyecto.

Tabla 3. Relación de recursos invertidos

RECURSO	DESCRPCIÓN	PRESUPUESTO	
<b>Equipo Humano</b>	Estudiante y director	Horas estudiante:240 Horas director:20	
	Computador	N/A	
<b>Equipo y Software</b>	Software Arduino	N/A	
	Placa Arduino Uno Rev. 3 Genérica	\$ 40.000	
	Escudo Ethernet para Arduino Uno (W5100)	\$ 32.000	
	Pantalla LCD 20X4 2004A	\$ 24.000	
	Módulo conversor I2C para pantalla LCD	\$ 7.500	
	Sensor de turbiedad SEN0189 DFROBOTS	\$ 54.000	
	Kit sensor de pH SEN0161-V2 DFROBOTS	\$ 227.000	
	Sensor de temperatura DS18B20 sumergible	\$ 12.000	
	Sensor de conductividad SEN0244 DFROBOTS	\$ 70.000	
	Fuente DC 9V/1A	\$ 15.000	
	Fuente de alimentación para protoboard	\$ 6.000	
	Caja de paso eléctrica	\$ 60.000	
	<b>Materiales y suministros</b>	Buffer de calibración de conductividad	\$ 115.000
		Buffer de calibración pH	\$ 30.000

<b>Bibliografía</b>	Bases de datos en convenio con la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, bibliografía propia y recursos web públicos	N/A
<b>Total</b>		<b>\$ 692.500,00</b>

## **6. Capítulo Cinco – Resultados**

En esta sección se presenta como resultados el desarrollo de cada una de las etapas de la metodología, las cuales, a su vez, permiten dar respuesta a los objetivos planteados en este proyecto y atiende a la problemática identificada. En primer lugar, se definen las variables que serán medidas, acorde con lo descrito previamente en el marco teórico. En segundo lugar, se presenta el diseño general del sistema, la tecnología necesaria para realizar construir el prototipo caracterizando cada elemento, el tipo de configuración del servidor remoto de almacenamiento y visualización y protocolos utilizados. En tercer lugar, se hace una descripción detallada del algoritmo que representa a la solución, la codificación del microcontrolador y del servidor remoto, de forma que este proyecto pueda ser referenciado y reproducido por otros investigadores interesados en la temática. Finalmente, se realiza el proceso de validación de la solución completa, en donde se presentan los resultados obtenidos en un periodo de una semana para las variables de la calidad del agua de la planta de tratamiento, siendo contrastados con los valores permitidos por la norma vigente.

### **6.1 Elección de las variables del sistema**

Con relación a la primera etapa, después de haber realizado la construcción del marco teórico relacionado con el problema que es objeto de estudio de este proyecto y, teniendo en cuenta los objetivos planteados y los requerimientos de la empresa, se determinó que las variables asociadas a la calidad del agua que se medirán son:

- Temperatura en grados Celsius
- Conductividad en TDS
- Turbiedad en NTU
- Potencial de hidrógeno pH

### **6.2 Diseño de la solución con base en el análisis de la información**

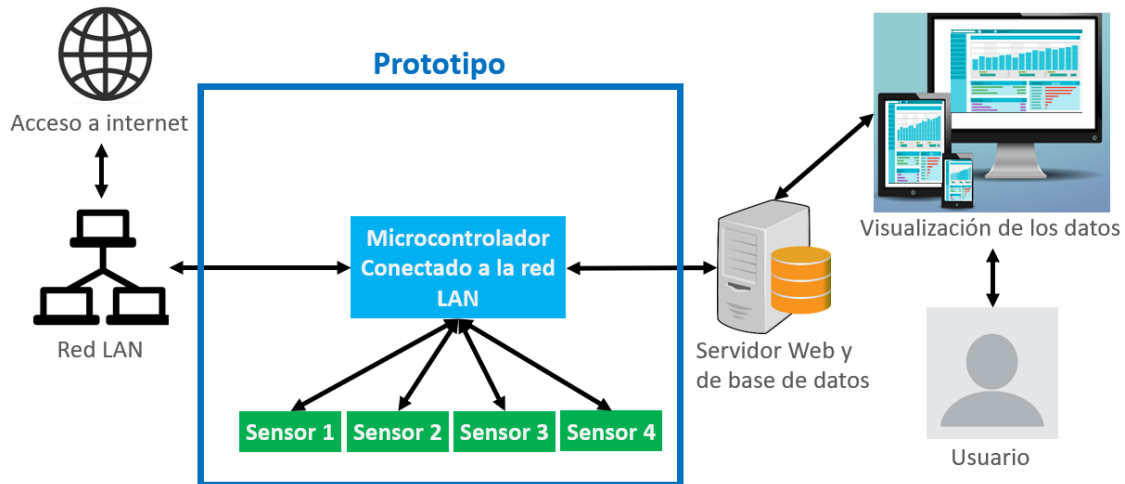
A continuación, se encuentra una descripción general del sistema desarrollado en este proyecto, el cual permite realizar la medición en tiempo real

y centralizada de las variables potencial de hidrógeno, conductividad en TDS, turbiedad y temperatura:

El sistema se compone de un prototipo compuesto de:

1. Un microcontrolador conectado a la red LAN de la empresa
2. Conjunto de sensores de calidad de agua
3. Servidor web y de base de datos
4. Aplicación web de visualización

El conjunto de sensores y microcontrolador se denomina **prototipo**.



*Figura 3. Diseño general del sistema.*

*Fuente: el autor*

La solución cuenta con una serie de sensores específicos para la medición de las variables asociadas a la calidad del agua (turbiedad, conductividad TDS, potencial de hidrógeno pH y temperatura) que envían los datos a un microcontrolador Arduino Uno conectado a internet por medio de un escudo ethernet compatible con Arduino Uno. Los valores de las magnitudes se capturan y muestran al usuario por medio de un servidor web interno del microcontrolador por medio de cualquier navegador web.

### **6.3 Tecnología necesaria para la construcción e implementación del sistema de medición**

Con base en el desarrollo de las etapas definidas en la metodología y acorde con el diseño presentado en la sección 6.2 (figura 3) los componentes que se utilizaron para la construcción del prototipo fueron:

- Sensor de temperatura sumergible
- Sensor de conductividad en TDS
- Sensor de turbiedad en NTU
- Sensor de potencial de hidrógeno PH
- Microcontrolador Arduino Uno
- Escudo ethernet
- Fuente de poder para protoboard
- Baquela universal perforada
- Adaptador de corriente directa 9V/1<sup>a</sup>
- Pantalla LCD 20X4
- Conversor I2C para pantalla LCD
- Caja de paso plástica

#### **6.3.1 Microcontrolador Arduino Uno original o genérico**

Esta placa cuenta con un microcontrolador ATMEGA328P que tiene 14 pines digitales de entrada/salida, 6 entradas analógicas, resonador cerámico de 16MHz de frecuencia, conexión USB, entrada de alimentación de 7 a 12V, conectores para ICSP y botón de reinicio (Arduino, 2021).

El chip ATmega328 tiene una memoria flash de 32KB, SRAM de 2KB, EEPROM de 1KB (Guerrero, 2014).



Figura 4. Placa Arduino Uno/Genuino  
Fuente: <https://arduino.cl/arduino-uno/>

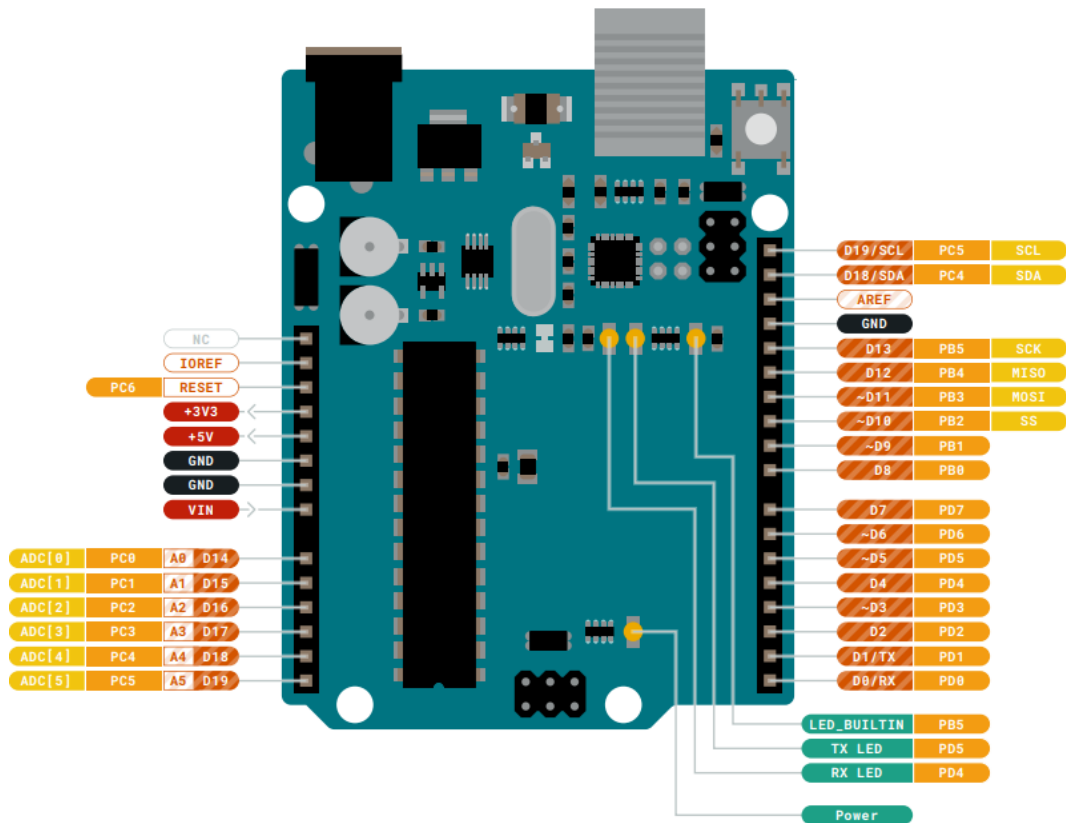


Figura 5. Diagrama de pines Arduino Uno rev3.

Fuente:

[https://www.mcielectronics.cl/website\\_MCI/static/documents/Pinout\\_UNOrev3.pdf](https://www.mcielectronics.cl/website_MCI/static/documents/Pinout_UNOrev3.pdf)

### 6.3.2 Escudo ethernet (Arduino Ethernet Shield)

Este escudo cuenta con un chip W5100 y permite la conexión a internet de las placas Arduino Uno y Arduino Mega gracias a la integración de los protocolos TCP/IP y UDP. Tiene un conector RJ-45 con un transformador de línea integrado, ranura micro-SD y conexión SPI para la comunicación serial con el chip ATMEGA328P (Ahedo, 2021).

Este módulo cuenta con una serie de leds indican el funcionamiento:

- PWR: indica si el escudo está encendido o apagado
- TX y RX: indica si el escudo está enviando o recibiendo datos respectivamente
- COLL: indica si en la conexión hay colisiones de red
- FULLD: conexión full dúplex
- 100M: indica si la conexión de red es a 100Mbps o en caso apagado a 10Mbps.
- LINK: indica que el escudo tiene enlace de red y parpadea cuando envía o recibe datos.

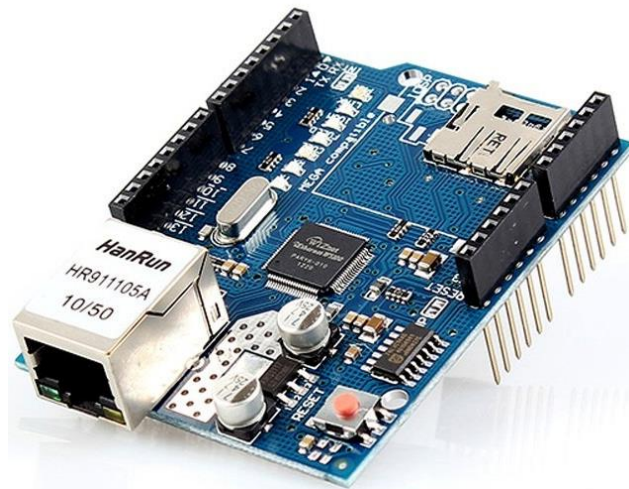


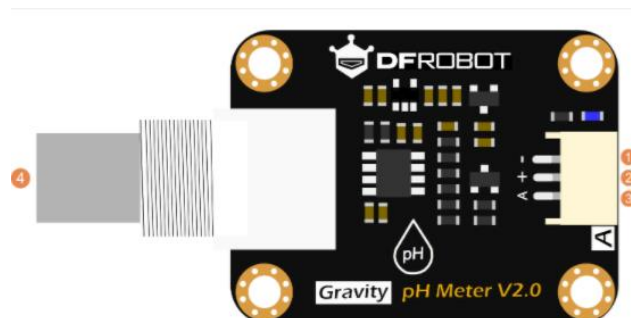
Figura 6. Escudo Ethernet para Arduino Uno/Mega

Fuente: <https://ingeniotics.com.mx/product/ethernet-shield-w5100-para-placa-arduino-uno/>

### 6.3.3 Sensor de potencial de hidrógeno pH

Para la medición de esta variable se utilizó el Gravity pH Meter V2.0 de la marca DFROBOT.

Este sensor analógico está diseñado para medir el nivel de pH de una solución, lo que indica su nivel de acidez o alcalinidad. Cuenta con una placa convertidora de señal (Transmitter) y un conector de prueba BNC con un rango de detección de 0 a aproximadamente 14, rango temperatura entre 5 y 60°C, precisión  $\pm 0.1$  a 25°C, y un tiempo de respuesta menor a 2 minutos (DFROBOT, 2021).



Num	Label	Description
1	-	Power GND(0V)
2	+	Power VCC(3.3~5.5V)
3	A	Analog Signal Output(0~3.0V)
4	BNC	pH Probe Connector

Figura 7. Sensor de potencial de hidrógeno pH Referencia (SKU:SEN0161-V2)



Fuente:

[https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_pH\\_Sensor\\_Meter\\_Kit\\_V2\\_SKU\\_SEN0161-V2](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2)

### 6.3.4 Sensor de turbiedad

Para la medición de esta variable se utilizó el Gravity Turbidity sensor V1.0 de la marca DFROBOT.

Este sensor determina la calidad del agua en función de la turbiedad de una muestra de esta. Utiliza luz para detectar la cantidad de partículas suspendidas midiendo la transmitancia de la luz y la tasa de dispersión, las cuales dependen de la cantidad de sólidos suspendidos disueltos TSS. A mayor TSS el nivel de turbiedad aumenta. Este sensor puede enviar los datos a la salida en forma digital o analógica según el microcontrolador que se use (DFROBOT, 2021).

#### Características:

- Voltaje de operación: 5V DC
- Corriente máxima de operación: 40Ma
- Tiempo de respuesta: menor a 500ms
- Voltaje de salida: 0 a 4.5V
- Temperatura de operación: entre 5 y 90°C
- Temperatura de almacenamiento: entre -10 y 90°C

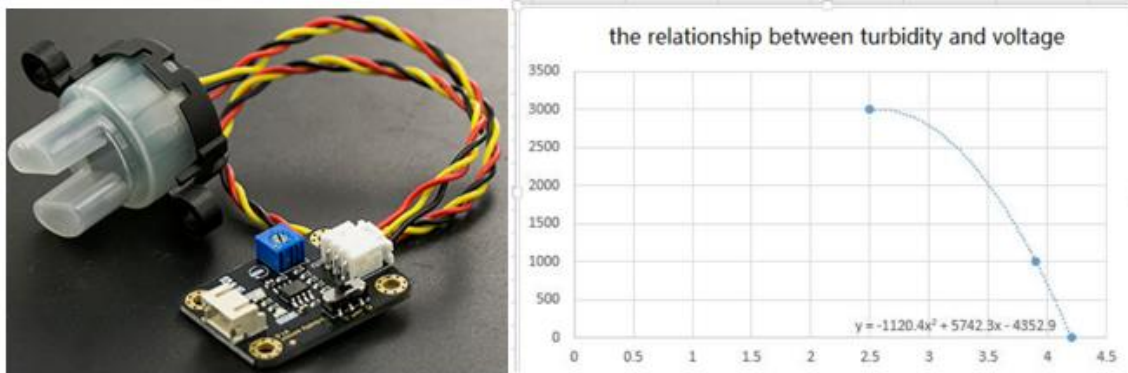


Figura 8. Sensor de turbiedad y relación de voltaje

Referencia SKU SEN0189

Fuente: [https://wiki.dfrobot.com/Turbidity\\_sensor\\_SKU\\_SEN0189](https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU_SEN0189)

En la figura 8 se observa una imagen del sensor y la board de conversión. También se muestra una gráfica empírica de la relación entre el voltaje de salida del sensor y el valor de turbiedad en NTU, donde se obtiene 0 para 4.2V.

Teniendo en cuenta que, según el fabricante, cuando el sensor está en agua pura (visiblemente clara) el valor de turbiedad debe ser menor a 0.5 y el voltaje de salida debería estar en el rango entre 3.8 y 4.4 voltios.

### 6.3.5 Sensor de conductividad TDS

Para la medición de esta variable se utilizó el Gravity Analog TDS Sensor. Este sensor indica la cantidad total de sólidos solubles disueltos en el agua TDS (Total Dissolved Solids). En términos generales, mientras mayor es la cantidad de sólidos solubles menos limpia se considera por lo que es un indicador muy utilizado para determinar la calidad de esta.

#### Características:

- Voltaje de operación: entre 3.3 y 5.5V
- Voltaje de salida: entre 0 y 2.3V
- Corriente de operación: entre 3 y 6mA
- Rango de medición TDS: 0 a 1000ppm (partículas por millón)
- Precisión:  $\pm 10\%$  F.S a 25°C

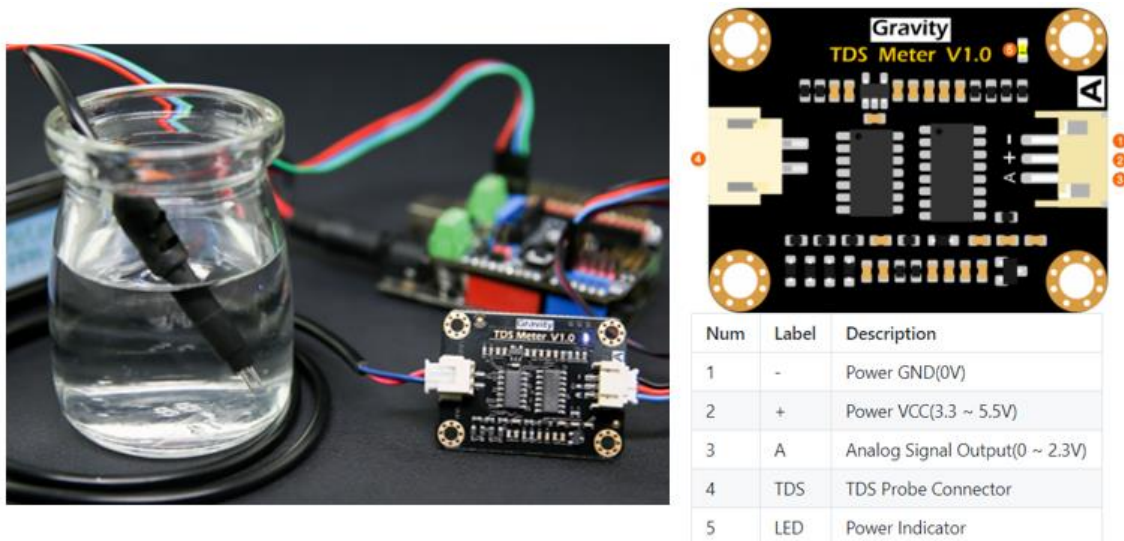


Figura 9. Sensor de conductividad TDS Referencia SKU SEN0244.

Fuente:

[https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_TDS\\_Sensor\\_Meter\\_For\\_Arduino\\_SKU\\_SEN0244](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_TDS_Sensor_Meter_For_Arduino_SKU_SEN0244)

### 6.3.6 Sensor de temperatura sumergible DS18B20

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura que se comunica por medio de un bus de un cable (1-Wire Bus) que solo requiere una línea de datos y tierra para comunicarse con el microprocesador (Maxim Integrated Products, 2019).

#### Características:

- Tecnología 1-Wire que usa solo un pin para la comunicación
- Rango de medición: -55 a 125°C
- Precisión:  $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- Resolución programable desde 9 a 12 Bits
- Sumergible.

#### Pin Configurations

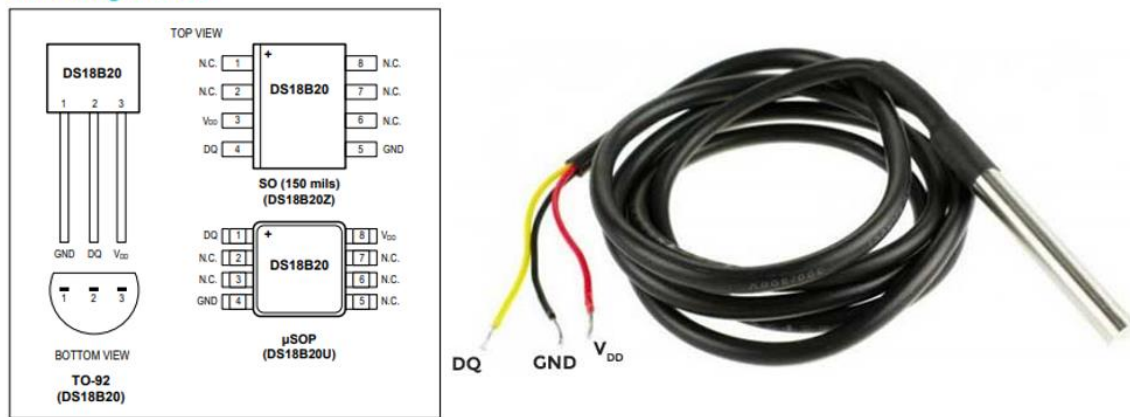


Figura 10. Sensor digital de temperatura DS18B20.

Fuente: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> y <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>

### 6.3.7 Alimentación

- Adaptador de corriente DC de 12V



Figura 11. Fuente DC con salida 9V y corriente 1<sup>a</sup>

Fuente: <https://sandorobotics.com/producto/hr0177-12/>

- Fuente para protoboard con salidas a 5 y 3.3V, con entrada de 7 a 12V



Figura 12. Fuente para protoboard

Fuente: <https://www.iberobotics.com/producto/fuente-alimentacion-protoboard-400-830-puntos/>

### 6.3.8 Pantalla LCD 20x4

Esta pantalla cuenta con cuatro filas y veinte columnas para la visualización de la información de las variables. Está conectada a un convertidor I2C que permite hacer la conexión con el microcontrolador utilizando solo dos canales. De esta manera, aunque el dispositivo no cuente con conexión al servidor el operario de la planta podrá consultar los datos de forma local.



Figura 13. Pantalla LCD 20x4 y convertidor I2C

Fuente: <https://tienda.bricogeek.com/descatalogado/178-pantalla-lcd-20x4-caracteres.html> y <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-454051387-modulo-conversor-i2c-adaptador-display-lcd-16x2-20x4- JM>

### 6.3.9 Servidor remoto

Este proyecto requiere la implementación de un servidor de base de datos que permita el almacenamiento del conjunto de datos obtenidos por los sensores y procesados por el microcontrolador. De igual manera requiere de un servidor web para la publicación de una aplicación de consulta de los datos en tiempo real por parte del operario de la planta. Para lo anterior se adecuó una de las máquinas virtuales del servidor local de la empresa, la cual tiene las siguientes características:

- Sistema operativo: Windows Server 2012R2
- Memoria RAM: 8GB
- Disco duro: 80GB
- Procesador: cuatro núcleos a 2.9GHz
- Servidor WAMP v.3.2.3 con Gestor de base de datos MySQL 5.7.31 (MariaDB 10.4.13), Apache 2.4.46 y PHP 7.3.21

### 6.3.10 Visualización

Los valores de las variables pueden ser consultados en tiempo real desde cualquier navegador web de equipos que se encuentren en la misma red que el

Arduino e incluso desde una red externa haciendo el redireccionamiento de puertos correspondiente en el router, para lo cual se requiere una ip pública fija en este y una ip privada estática en el escudo.

### 6.3.11 Protocolos de comunicación

A continuación, se presenta una descripción de los diferentes tipos de protocolos que están presentes en el sistema de medición desarrollado:

- Para la programación de la placa Arduino y el escudo ethernet se requiere una conexión USB con el computador donde está el IDE instalado (The open-source Arduino Software).
- La placa Arduino Uno cuenta internamente con un convertidor a comunicación serial que permite cargar el sketch (programa) al microcontrolador.
- La comunicación entre el microcontrolador y el chip W5100 del escudo ethernet se realiza por medio de una conexión serial usando el bus SPI (a través de la cabecera ICSP). Para lo cual utiliza los pines digitales del 10 al 13 (Ahedo, 2021).
- Para la conexión a internet se utiliza el protocolo Ethernet, TCP/I`P
- Para la visualización de la información por medio de un navegador web se utiliza el protocolo HTTP.

### 6.4 Diseño y conexión del circuito del sistema de medición

En primer lugar, se conecta el escudo ethernet con el Arduino Uno como se ve en la Figura 14.

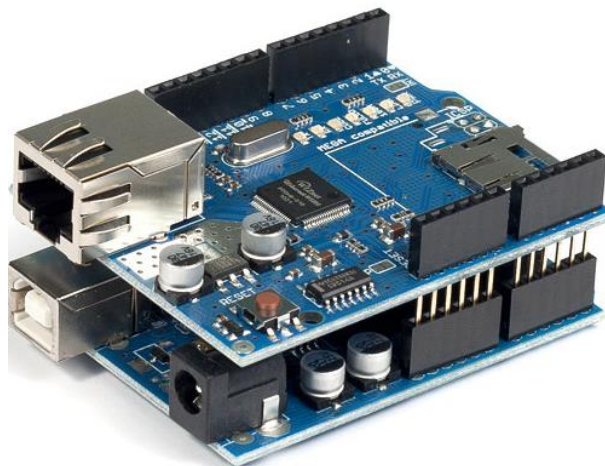


Figura 14. Conexión del Arduino Uno con el escudo ethernet

Fuente: <https://scidle.com/es/como-usar-el-ethernet-shield-de-arduino/>  
El circuito con la conexión entre las dos placas se muestra en la siguiente figura.

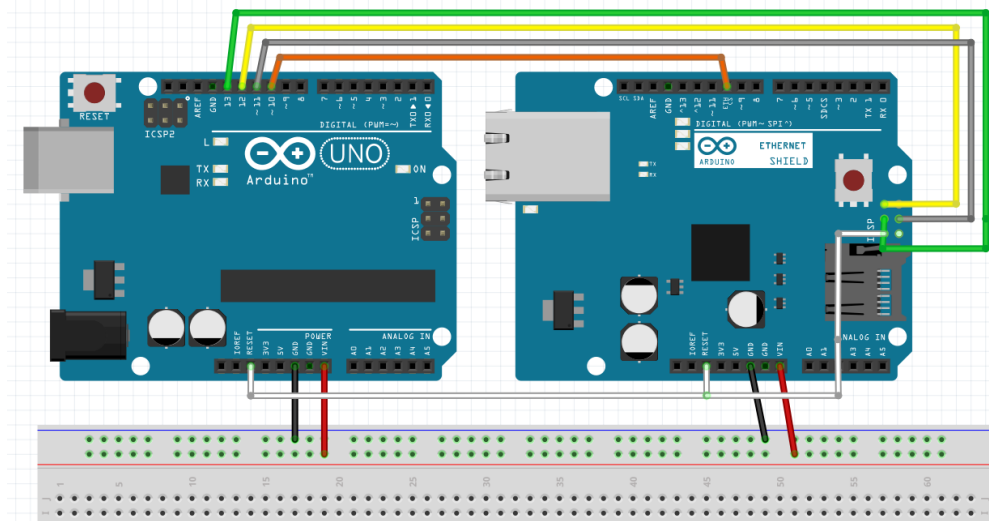


Figura 15. Circuito de conexión del escudo ethernet y la placa Arduino Uno

Fuente: el autor

Las conexiones por medio de cables de la figura anterior son equivalentes a la de las dos placas unidas físicamente (Escudo sobre Arduino) (Espruino, 2017).

El circuito general del prototipo, incluido los sensores se muestra en la figura 16.

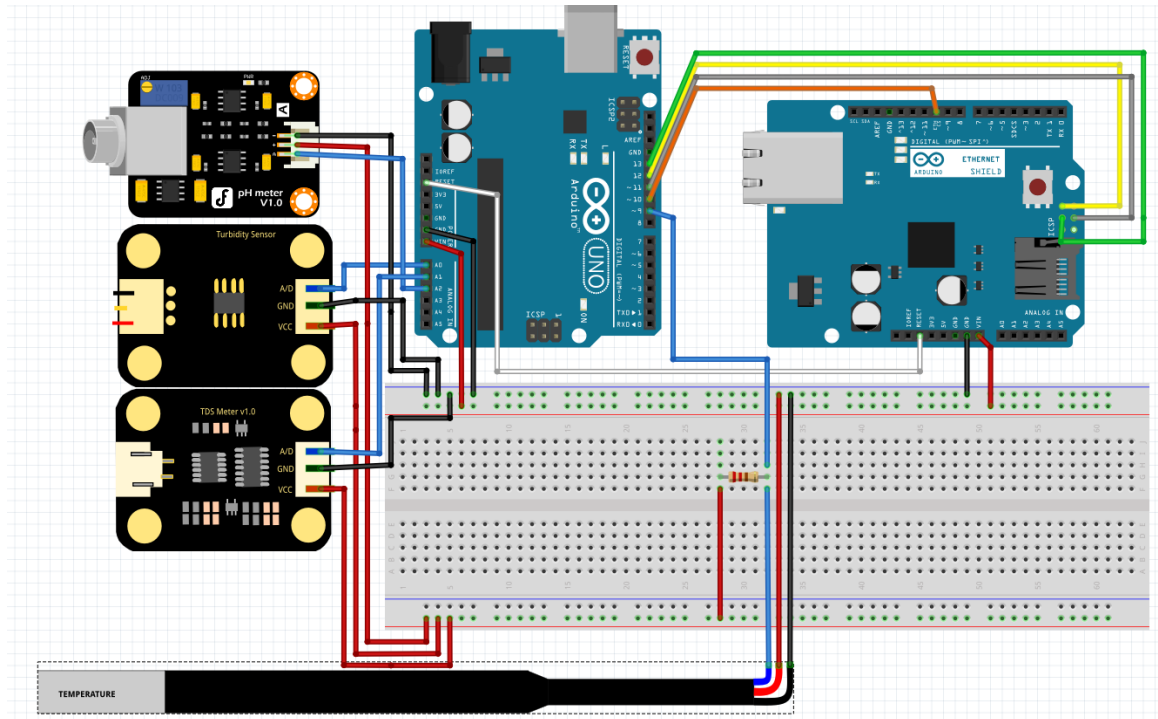


Figura 16. Conexión del prototipo

Fuente: el autor

### 6.5 Síntesis de la conexión

En la siguiente tabla se presenta un resumen con los elementos más relevantes del circuito de conexión del prototipo.

Tabla 4. Elementos del circuito del prototipo

Elemento	Descripción
Conectores negros	Conexión a tierra
Conectores azules	Envío de datos de los sensores a las entradas del microcontrolador
Conectores rojos	Alimentación de 5V para sensores y de 9V para las placas
Sensor DS18B20	Mide la temperatura del agua por inmersión
Sensor SEN0244	Mide la conductividad del agua en TDS
Sensor SEN0189	Mide la turbiedad del agua por cambios en el voltaje



Sensor SEN0161-V2	Mide el potencial de hidrógeno pH del agua
Placa Arduino Uno	Permite recibir, procesar y enviar al servidor remoto los valores de las magnitudes referentes a la calidad del agua
Escudo ethernet	Permite hacer la conexión del prototipo a la red corporativa

## 6.6 Programación del microcontrolador y procesamiento de las señales de los sensores

En esta sección se presenta la lógica de la programación realizada al microcontrolador, así como el código completo de la solución a nivel del prototipo y del servidor remoto.

### 6.6.1 Algoritmo de funcionamiento del sistema de medición

La estructura del programa para el microcontrolador es la siguiente:

1. Carga de librerías necesarias para el funcionamiento de cada componente.
2. Definición de variables, constantes e instancias y asignación de entradas del microcontrolador.
3. Definición de parámetros de red del escudo ethernet (dirección ip, MAC address, ip de la puerta de enlace y dirección ip del servidor remoto)
4. Inicio de la conexión a la red, serial e inicialización de sensores
5. Lecturas analógicas/digitales provenientes de los sensores
6. Procesamiento de las señales (conversión de voltajes)
7. Presentación de los datos en pantalla LCD
8. Envío de los datos al servidor remoto

La estructura del programa del lado del servidor es:

1. Definición de variables (las mismas del programa del microcontrolador)
2. Lectura de los datos provenientes del prototipo
3. Conexión con la base de datos
4. Inserción del registro en la tabla que lleva el histórico
5. Actualización del registro en la tabla que tiene el último registro (tiempo real)
6. Carga de librerías asociadas al envío de correo electrónico
7. Definición de parámetros de la cuenta de correo saliente
8. Ciclo de validación de los datos registrados
9. Envío de correo electrónico de alerta al operario de la planta en caso de que algunas de las variables estén fuera de los límites permitidos por la normativa local

## 6.6.2 Diagrama de flujo

En la siguiente figura se presenta el diagrama de flujo de datos del sistema, el cual incluye las dos estructuras de programación definidas anteriormente.

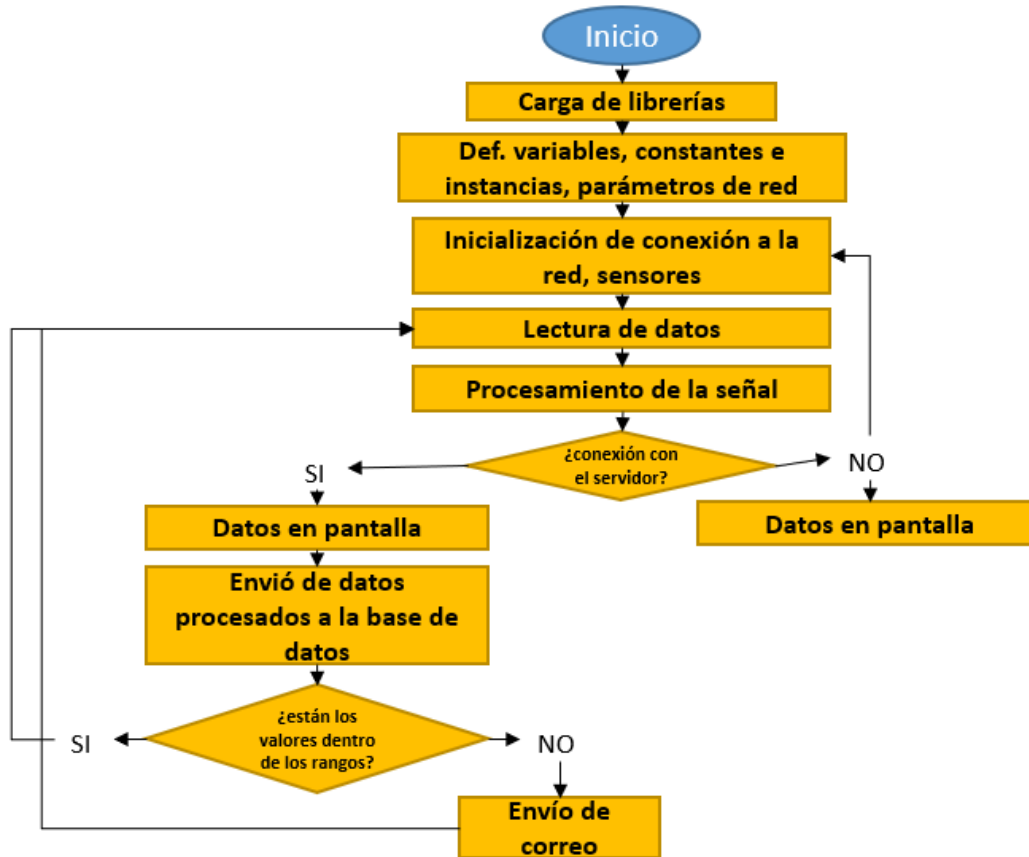


Figura 17. Diagrama de flujo del sistema.

Fuente: el autor

### 6.6.3 Programa del microcontrolador (sketch)

1. Carga de librerías necesarias para el funcionamiento de cada componente.

```
#include "DFRobot_PH.h"           //libreria para Sensor de pH
#include <Ethernet.h>             //libreria ethernet
#include <SPI.h>                  //libreria ethernet
#include <Wire.h>
#include <OneWire.h>             //libreria del DS18B20
#include <DallasTemperature.h>   //libreria del DS18B20
#include <EEPROM.h>
#include "GravityTDS.h"          //libreria del TDS Meter
#include <LiquidCrystal_I2C.h>   //libreria del LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Seteamos la direccion I2C
```

2. Definición de variables, constantes e instancias y asignación de entradas del microcontrolador.

3.

```
#define TdsSensorPin A1          //Pin análogo del TDS Meter
float tdsValue = 0;             //Valor inicial de TDS
int sensorPin = A0;            //Pin análogo del Sensor de turbiedad
float volt;                    //Voltaje del sensor de turbiedad
float ntU;                    //Voltaje del sensor de turbiedad convertido a NTU
#define PH_PIN A2              //Pin análogo del sensor de pH
float voltage,phValue,temperature=20.2; //Voltaje y variable para el pH
DFRobot_PH ph;

GravityTDS gravityTds;

const int pinDatosDQ = 9;      /* pin de datos sensor de temperatura DS18B20 D4 (GPIO2)*/
OneWire oneWire(pinDatosDQ);  /* configuración de la instancia oneWire para comunicarse con cualquier dispositivo OneWire */
DallasTemperature sensors(oneWire); /* se pasa nuestra referencia oneWire al sensor Dallas temperature*/
```

4. Definición de parámetros de red del escudo ethernet (dirección ip, MAC address, ip de la puerta de enlace y dirección ip del servidor remoto)

5.

```
// Configuracion del Ethernet Shield
byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFF, 0xEE}; // Direccion MAC
byte ip[] = { 192,168,0,20 };                    // Direccion IP del Arduino
byte server[] = { 192,168,0,12 };                // Direccion IP del servidor192,168,0,12

EthernetClient cliente;                          //objeto del ethernet
```

6. Inicio de la conexión a la red, serial e inicialización de sensores

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);           /*Inicializamos comunicación serie*/
  lcd.begin(20,4);             /*Inicializamos el lcd para 20 caracteres 4 lineas, Encendemos el backlight*/
  lcd.backlight();            /*se enciende de el backlight del panel
  sensors.begin();            /*inicializamos el sensor DS18B20*/
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin); /*inicializamos el sensor TDS Meter*/
  gravityTds.setAref(5.0);     /*voltaje de referereccia ADC, por defecto 5.0V en Arduino UNO*/
  gravityTds.setAdcRange(1024); /*1024 para 10bit ADC;4096 para 12bit ADC*/
  gravityTds.begin();         /*Inicialización del programa TDS*/

  Ethernet.begin(mac, ip); // Inicializamos el Ethernet Shield
  Serial.print("La dirección ip de la placa es: ");
  Serial.println(Ethernet.localIP());
}

```

## 7. Lecturas analógicas/digitales provenientes de los sensores y procesamiento de señales:

```

//TEMPERATURA
sensors.requestTemperatures(); //solicita la lectura de la temperatura al sensor
float temperatura = sensors.getTempCByIndex(0); //carga el valor de la temperatura en grados Celsius

//CONDUCTIVIDAD EN TDS
gravityTds.setTemperature(temperatura); // establece la temperatura y ejecuta la compensación
gravityTds.update(); // toma la muestra y calcula
tdsValue = gravityTds.getTdsValue(); // then get the value

//TURBIEDAD NTU
volt = 0; //ejecuta varias lecturas del puerto analógico, realiza
//un promedio y calcula el voltaje de salida y el valor en NTU

for(int i=0; i<800; i++)
{
  volt += ((float)analogRead(sensorPin)/1023)*5;
}
volt = volt/800;
volt = round_to_dp(volt,2);

if(volt < 2.5){
  ntu = 3000;
}else{
  ntu = -1120.4*quare(volt)+5742.3*(volt)-4353.8;
}

//PH
static unsigned long timepoint = millis();
if(millis()-timepoint>1000U){ //Intervalo de tiempo 1s
  timepoint = millis();
  voltage = analogRead(PH_PIN)/1024.0*5000; // lectura del puerto analógico y conversión a voltaje
  phValue = ph.readPH(voltage,temperature); // convierte el voltaje a pH haciendo compensación de temperatura
}
ph.calibration(voltage,temperature); // Función para la calibración

```

## 8. Presentación de los datos en pantalla LCD

```

// programación de la pantalla LCD

lcd.setCursor(0,0); //Empiezo en la posicion 1 (caracter) sobre la linea 0
lcd.print("Temp :");
lcd.print(temperatura);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,1); //Empiezo en la posicion 1 (caracter) sobre la linea 1
lcd.print("pH:");
lcd.print(phValue);
lcd.setCursor(0,2); //Empiezo en la posicion 1 (caracter) sobre la linea 1
lcd.print("Turbiedad:");
lcd.print(volt);
lcd.print("NTU");
lcd.setCursor(0,3); //Empiezo en la posicion 1 (caracter) sobre la linea 1
lcd.print("Cond :");
lcd.print(tdsValue);
lcd.print("ppm");

```

## 9. Envío de los datos al servidor remoto

```

// Proceso de envio de muestras al servidor
Serial.println("Envio de dato, conectando...");

if (cliente.connect(server, 80)>0) { // Conexion con el servidor(client.connect(server, 80)>0)
cliente.print("GET /planta/insert2.php?id_ph="); // Enviamos los datos por GET
cliente.print(phValue);
cliente.print("&id_conductividad=");
cliente.print(tdsValue);
cliente.print("&id_turbiedad=");
cliente.print(volt);
cliente.print("&id_temperatura=");
cliente.print(temperatura);
cliente.print("&id_volumen=");
cliente.print(5.5);
cliente.println(" HTTP/1.0");
cliente.println("User-Agent: Arduino 1.0");
cliente.println();
Serial.println("Envio con exito!");
    delay(5000);
} else {
    Serial.println("Fallo en la conexion");
    delay(2000);
}
if (!cliente.connected()) {
    Serial.println("Desconectando");
    delay(1000);
}

```

## 10. Presentación de datos en el monitor serial (Opcional)

```

Serial.print("Voltaje Turbiedad (V): ");
Serial.println(volt);
Serial.print("Conductividad (TDS): ");
Serial.println(tdsValue);
Serial.print("Temperatura (Celsius): ");
Serial.println(temperatura);
Serial.print("pH: ");
Serial.println(phValue);
cliente.stop();
cliente.flush();

```

Código auxiliar para el proceso de promedio del sensor de turbiedad:

```

float round_to_dp( float in_value, int decimal_place )
{
    float multiplier = powf( 10.0f, decimal_place );
    in_value = roundf( in_value * multiplier ) / multiplier;
    return in_value;
}

```

Este último código trabaja en conjunto con el procesamiento de la señal analógica recibida del sensor de turbiedad, en donde, por medio de un ciclo For se toman 800 muestras, se convierte a voltaje de salida y luego se suman. Este valor total se divide entre el número total de muestras (800) y da como resultado el promedio, que se almacena temporalmente en la variable volt. Luego por medio de la variable de punto flotante round\_to\_dp se truncan las posiciones decimales en las variables del microcontrolador para hacer más eficiente el proceso, en la medida en que no se envían todos los decimales calculados sino una o dos posiciones, como es este caso.

Es así como in\_value es la variable volt con todos sus decimales y decimal\_place es el numero de posiciones a conservar después de la coma. Y, finalmente, se llama a round\_to\_dp después de calcular el promedio y se asigna este último valor truncado a volt (voltaje de turbiedad).

#### 6.6.4 Programa en el servidor remoto

Una vez que los datos son enviados al servidor desde el Arduino Uno usando el método GET, en el servidor local, el archivo *insert2.php* realiza una serie de procesos para completar el proceso.

1. Definición de variables (las mismas del programa del microcontrolador) y lectura de los datos provenientes del prototipo

```

<?php
date_default_timezone_set('America/Bogota');
$ph = isset($_GET['id_ph']) ? $_GET['id_ph'] : '';
$conductividad = isset($_GET['id_conductividad']) ? $_GET['id_conductividad'] : '';
$turbiedad = isset($_GET['id_turbiedad']) ? $_GET['id_turbiedad'] : '';
$temperatura = isset($_GET['id_temperatura']) ? $_GET['id_temperatura'] : '';
$volumen = isset($_GET['id_volumen']) ? $_GET['id_volumen'] : '';

$dbservername_1 = ' ';
$dbusername_1 = ' ';
$dbpassword_1 = ' ';
$dbname_1 = ' ';

```

## 2. Conexión con la base de datos

### 3.

```

$conn_1 = mysqli_connect($dbservername_1, $dbusername_1, $dbpassword_1, $dbname_1);
//verifica la conexión

if (!$conn_1){ die("Conexion fallida: " . mysqli_connect_error());}
echo "Conexion exitosa."<br>;
//echo $ph;
$fecha = date("Y-m-d H:i:s", mktime (date("H"),date("i"),date("s"),date("m"),date("d"),date("Y")));

```

## 4. Inserción del registro en la tabla que lleva el histórico

### 5.

```

$sql = "INSERT INTO `variables` (`fecha`, `ph`, `conductividad`, `turbiedad`, `temperatura`, `volumen`)
VALUES
('$fecha', $ph, $conductividad, $turbiedad, $temperatura, $volumen);";
$conn_1->query($sql);

```

## 6. Actualización del registro en la tabla que tiene el último registro (tiempo real)

```

$sql = "UPDATE `actual` SET
`fecha` = '$fecha',
`ph` = '$ph',
`conductividad` = '$conductividad',
`turbiedad` = '$turbiedad',
`temperatura` = '$temperatura',
`volumen` = '$volumen'
WHERE
`id` = 1";
$conn_1->query($sql);

```

## 7. Carga de librerías asociadas al envío de correo electrónico

```

use PHPMailer\PHPMailer\PHPMailer;
use PHPMailer\PHPMailer\Exception;
require 'PHPMailer/src/Exception.php';
require 'PHPMailer/src/PHPMailer.php';
require 'PHPMailer/src/SMTP.php';

```

## 8. Definición de parámetros de la cuenta de correo saliente

9.

```
$mail = new PHPMailer(true);

$mail->SMTPDebug = 0;
$mail->isSMTP();
$mail->Host = "smtp.gmail.com";
$mail->SMTPAuth = true;
$mail->Username = " ";
$mail->Password = " ";
$mail->SMTPSecure = "tls";
$mail->Port = 587;
$mail->From = "plantadeagua@ljrj.net";
$mail->FromName = "Planta de agua";
$mail->addAddress(" ", "Receipient Name");
$mail->isHTML(true);
$mail->Subject = "Advertencia, variable fuera de límite";
$mail->Body = 'Temperatura: '.$temperatura.'C <br>'. 'Turbiedad: '.$turbiedad.'NTU <br>'. 'ph: '.$ph.' <br>'. 'Conductividad: '.$conductividad.'ppm' <br>';
$mail->AltBody = "";
```

## 10. Ciclo de validación de los datos registrados

```
if ($temperatura > 27 or $turbiedad < 3.8 or $ph > 9 or $ph < 6.5 or $conductividad > 500){
    try {
        //$mail->send();
        echo "Correo enviado";
    } catch (Exception $e) {
        echo "Error de envío: " . $mail->ErrorInfo;
    }
} else echo "datos dentro de los límites";
```

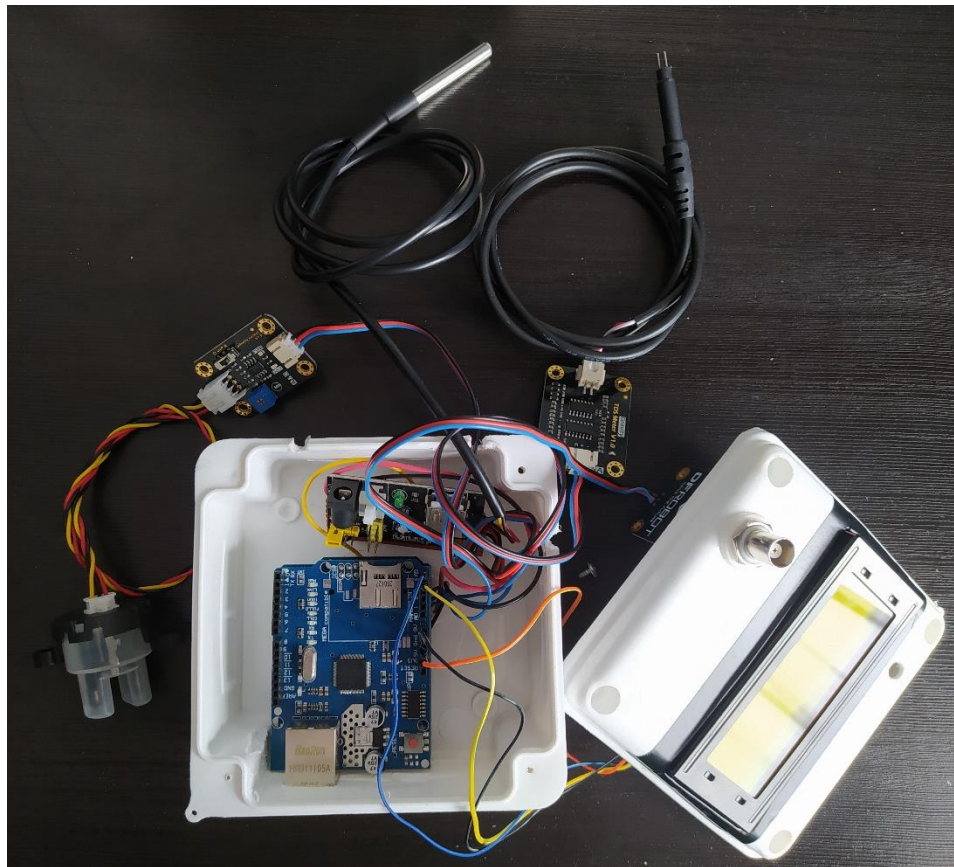
## 11. Cierre de la conexión

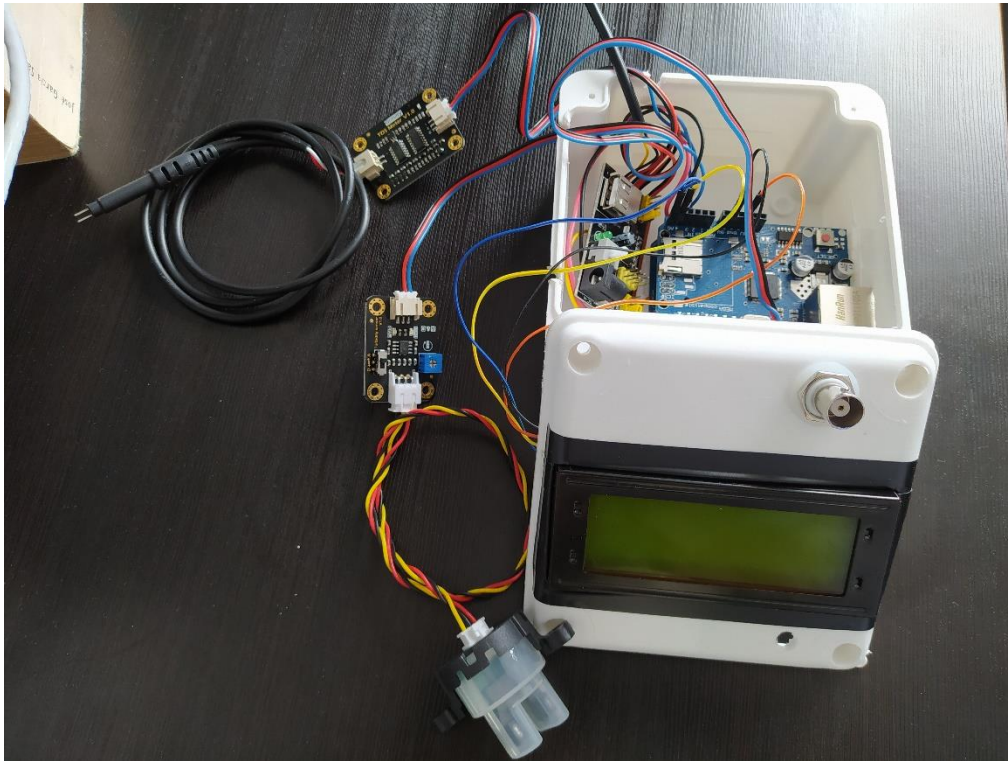
```
mysqli_close($conn_1);
?>
```

### 6.6.5 Presentación del prototipo real desarrollado

De acuerdo con el diseño de conexión presentado en la figura 16 y la lista de componentes referenciados, se presenta el prototipo construido:

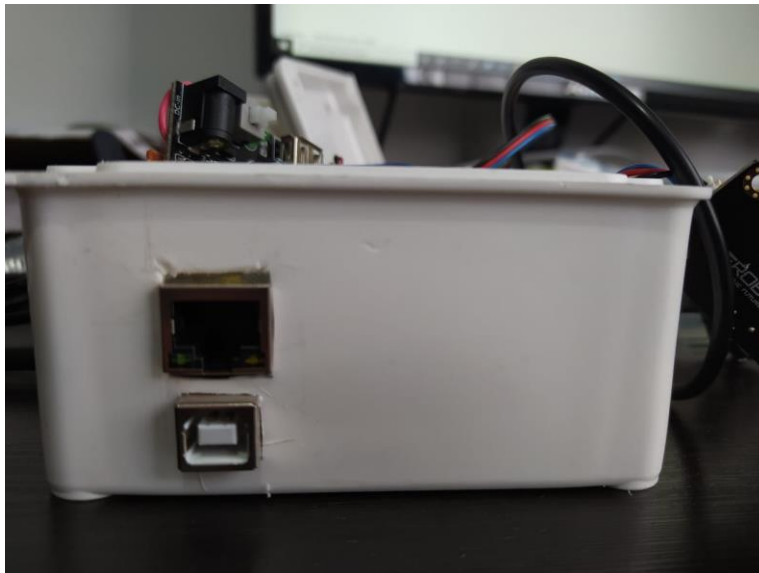






*Figura 18. Prototipo para la medición de la calidad del agua*

*Fuente: el autor*



*Figura 19. Vista frontal del prototipo.*

*Fuente: el autor*

El contenedor permite almacenar todas las tarjetas convertidoras, el Arduino Uno con el escudo ethernet y la fuente para protoboard, dejando únicamente las puntas de medición fuera de esta.

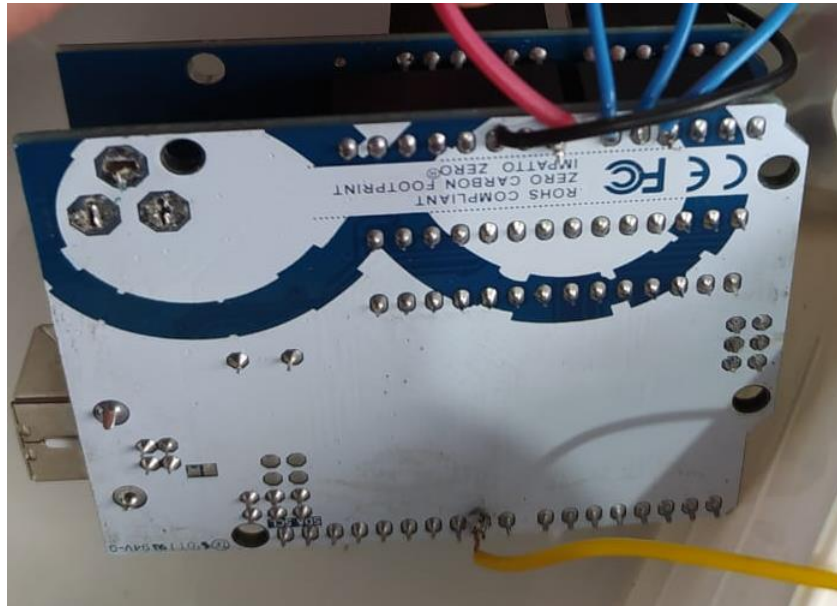


Figura 20. Conexión del Arduino Uno a los sensores, tierra y alimentación

Fuente: el autor

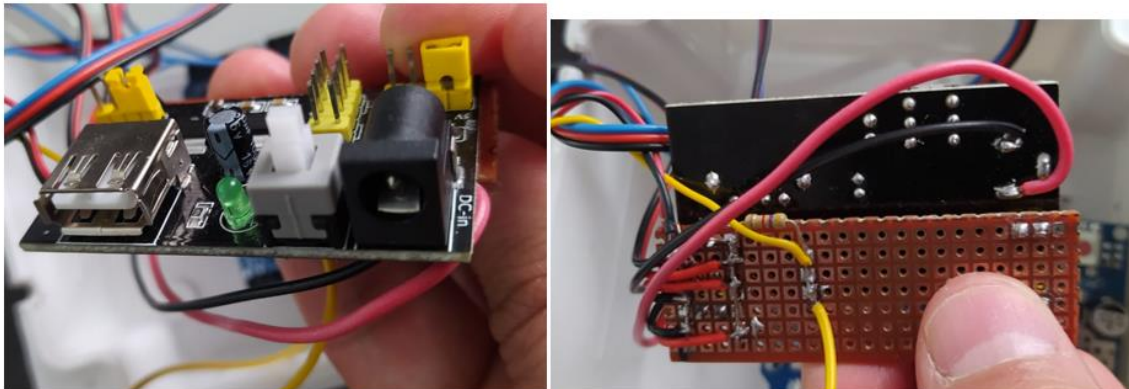


Figura 21. Conexión a la fuente de alimentación.

Fuente: el autor

#### 6.6.6 Validación del sistema (prueba completa de funcionamiento)

Las siguientes pruebas se realizan con una muestra de agua de la planta después de haber cumplido con todo el proceso de tratamiento a nivel interno. La siguiente figura es una fotografía del tanque final de la planta de tratamiento

de donde se toma la muestra de agua para la validación de la solución. El prototipo de se encuentra conectado al puerto USB del computador y a la red de la empresa por medio del puerto ethernet.



*Figura 22. Tanque de agua potable de la planta de tratamiento.*

*Fuente: el autor*

En la figura 23 se ve el prototipo realizando la medición de una muestra de agua obtenida del tanque final de distribución de agua. Todos los sensores están sumergidos en la muestra y los valores se observan en la pantalla lcd del mismo.

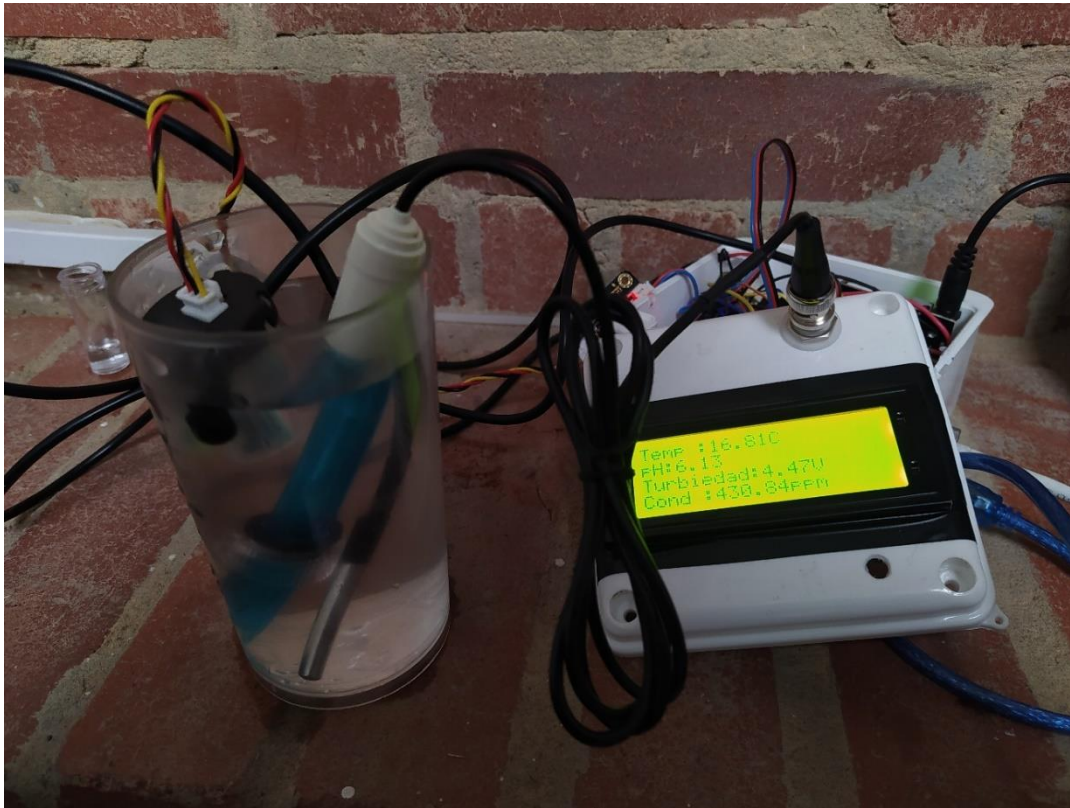


Figura 23. Prototipo midiendo calidad del agua en sitio.

Fuente: el autor

A continuación, se abordará la validación paso a paso siguiendo el proceso definido en la última etapa de la metodología.

1. Conexión de la placa a la red LAN de la empresa por medio del escudo ethernet.

La conexión del prototipo a la red de la empresa se valida en la tabla de asignación de direccionamiento ip para el segmento escogido (192.168.40.0/24). Como se observa en la siguiente figura, la MAC address del prototipo (00:aa:bb:cc:de:02) tiene asignada la ip 192.168.40.100 lo que implica que se encuentra conectado de forma correcta.

IP Pools Allocated					
IP Address	MAC ▲	Hostname	State	Duration	Lease Time
192.168.40.100	00:aa:bb:cc:de:02	WIZnetCCDE02	reserved		
192.168.40.25	f4:09:d8:08:68:ad	android-19a2948e7ace3a4f	committed	3600	Thu Jun 24 12:00:39 2021

Figura 24. Tabla de asignación de ip por DHCP en el firewall interno

## 2. Conectividad del dispositivo con el servidor web y de base de datos

Una vez que se garantiza que el prototipo está conectado a la red empresarial, se debe validar que envíe los datos al servidor remoto, el cual está en un segmento de red distinto. En la siguiente figura se observa, por medio del monitor serial, que el prototipo se conecta con el servidor remoto y hace el envío del arreglo de datos (*Envío de datos, conectando...*, *Envío éxito*). Este resultado se valida también más adelante en la base de datos, como registros insertados (Figura 27).

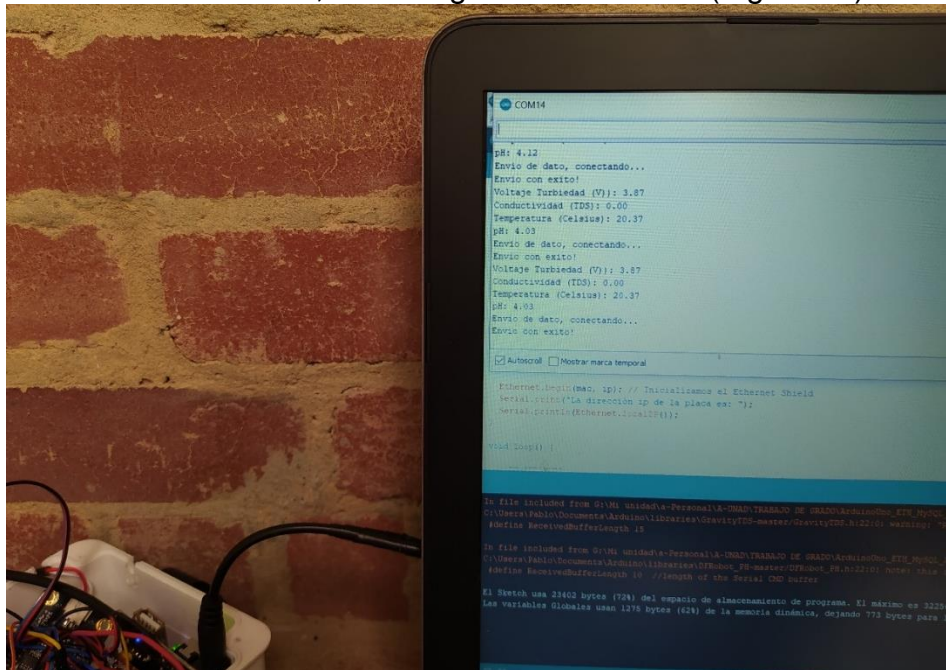


Figura 25. Validación del envío de los datos al servidor gracias a la conexión ethernet.

Fuente: el autor.

## 3. Envío de la información al servidor de base de datos

Después de observar los datos en la pantalla LCD y de ver en el monitor serial que estos fueron enviados con éxito, se valida en la tabla *variables* que estos fueron guardados, en promedio, cada cinco segundos. Esto se muestra en la siguiente figura.

Servidor: MySQL\_3306 » Base de datos: planta » Tabla: variables

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar Exportar Importar Privilegios Operaciones Disparad

Mostrando filas 0 - 24 (total de 1320. La consulta tardó 0,0017 segundos.) [id: 1320... - 1296...]

```
SELECT * FROM `variables` ORDER BY `id` DESC
```

1 > >> | Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en esta tabla | Sort by key: PRIMARY (DESC)

+ Opciones

	id	fecha	ph	conductividad	turbiedad	temperatura	volumen
<input type="checkbox"/>	1320	2021-06-17 13:11:51	6.15	441.17	4.47	16.87	5.5
<input type="checkbox"/>	1319	2021-06-17 13:11:45	6.15	441.17	4.48	16.87	5.5
<input type="checkbox"/>	1318	2021-06-17 13:11:39	6.15	441.17	4.47	16.87	5.5
<input type="checkbox"/>	1317	2021-06-17 13:11:33	6.15	436.01	4.5	16.87	5.5
<input type="checkbox"/>	1316	2021-06-17 13:11:27	6.18	436.01	4.49	16.87	5.5
<input type="checkbox"/>	1315	2021-06-17 13:11:21	6.15	436.01	4.5	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1314	2021-06-17 13:11:15	6.15	436.01	4.49	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1313	2021-06-17 13:11:09	6.15	430.84	4.5	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1312	2021-06-17 13:11:03	6.15	430.84	4.49	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1311	2021-06-17 13:10:57	6.13	430.84	4.48	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1310	2021-06-17 13:10:51	6.13	430.84	4.48	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1309	2021-06-17 13:10:45	6.13	430.84	4.49	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1308	2021-06-17 13:10:39	6.13	430.84	4.47	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1307	2021-06-17 13:10:33	6.13	430.84	4.47	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1306	2021-06-17 13:10:27	6.1	410.07	4.47	16.81	5.5
<input type="checkbox"/>	1305	2021-06-17 13:10:21	6.1	425.66	4.46	16.81	5.5

Figura 26. Tabla en donde se guarda el histórico de los datos enviados desde el prototipo.

Fuente: el autor

Acorde con lo anterior, también se evidencia que el último registrado se mantiene actualizado en la tabla *actual* (figura 28). Este registro es el que se muestra al operador de la planta de tratamiento mediante cualquier navegador web.

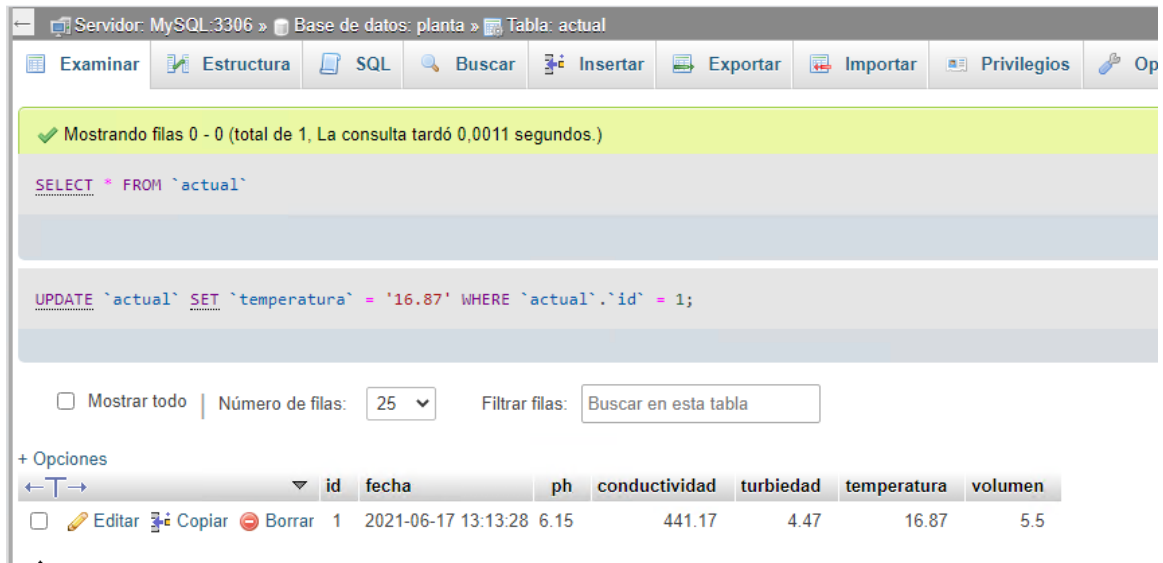


Figura 27. Tabla que actualiza los últimos datos enviados por el prototipo.

4. Visualización de los datos mediante un navegador web desde la red LAN  
 Se diseñó una aplicación web sencilla que permite conocer en tiempo real el valor del último registro en la base de datos asociado al arreglo enviado por el prototipo. En la siguiente figura se observa la consulta desde un navegador web estando el usuario en la red LAN de la empresa.

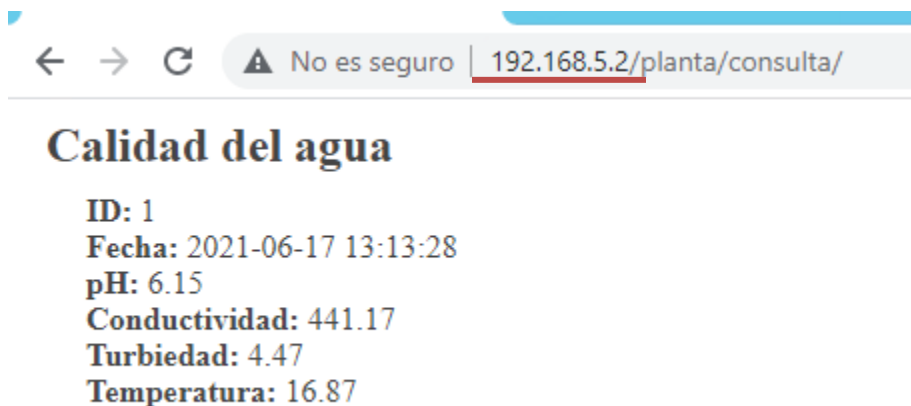


Figura 28. Aplicación web de consulta de los datos en tiempo real (red local).

Fuente: el autor

5. Visualización de los datos mediante un navegador web desde internet por medio de la dirección ip pública de la empresa.  
 En la siguiente imagen se muestra el funcionamiento de la aplicación web de consulta desde una red externa a la empresa. El acceso se realiza a través



de la ip pública y un puerto de entrada específico. Para lo anterior fue necesario establecer el direccionamiento de puertos al interior del firewall y la creación de la respectiva política de acceso.

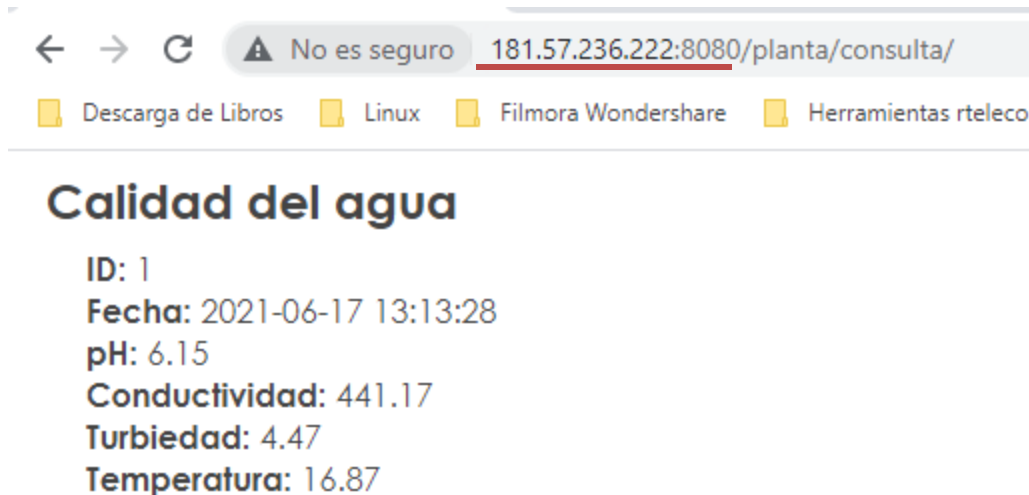


Figura 29. Aplicación web de consulta de los datos en tiempo real (red remota).

Fuente: el autor

6. Calibración de los sensores y medición de las cuatro variables de una muestra de agua después de pasar por el proceso de potabilización. Comparación de los resultados con los valores permitidos dentro de la norma.

El último registro de datos en el cual estuvieron los 4 sensores dentro de la muestra de agua fue el id:1320 cuyos valores son:

3.8 y 4.4 voltios

pH: 6.15

Turbiedad: 4.47V

Conductividad: 441.17ppm

Temperatura: 16.87 °C

De las medidas anteriores se tiene que:

- El valor de potencial de hidrógeno se encuentra por debajo del rango aceptable (6.5 – 9.0) unidades. Frente a esto, el operario de la planta manifiesta que el personal que realiza las visitas de inspección por parte de la Secretaría de Salud considera aceptable el pH desde el valor 6.0.
- El voltaje de salida asociado a la turbiedad está dentro del rango de referencia del fabricante del sensor (3.8 a 4.5 voltios) indicando que el agua está por debajo de los 0.5 NTU, siendo 2 NTU el máximo permitido por la norma colombiana.

- El valor de la conductividad se encuentra por debajo de los 500ppm en TDS, siendo este el valor máximo aceptado.
- La temperatura es adecuada al ser inferior a 27°C

Los resultados obtenidos indican que esta muestra de agua es apta para el consumo humano, al menos en lo que compete a estas cuatro variables analizadas.

### 6.7 Validación del prototipo con otro instrumento de medición

En esta sección se presentan los resultados de la medición de las variables asociadas con la calidad del agua utilizando el prototipo construido y otro de tipo profesional. Se realizó la medición una vez al día durante cinco días seguidos con el fin de contrastar los datos con otro instrumento de medición que se utiliza con frecuencia en la empresa. El dispositivo es de la línea profesional de Hanna Instruments y cuenta con dos sensores, uno de potencial de hidrógeno pH y otro de conductividad en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $1000\mu\text{S}/\text{cm} = 500\text{ppm}$  en TDS). Este sensor permite realizar la medición y ver los resultados en pantalla, más no ofrece ningún otro tipo de funcionalidad como la conexión a la red, almacenamiento de datos o consulta remota.

En la siguiente tabla se encuentran los valores obtenidos con los dos instrumentos en los cinco días. En los anexos se pueden ver las imágenes de estas mediciones.

*Tabla 5. Mediciones con el prototipo y con dispositivo externo*

Día	Prototipo				Instrumento externo		
	pH	Conductividad en TDS (ppm)	Temperatura °C	Turbiedad (V)	pH	Conductividad $\mu\text{S}/\text{CM}$	Conductividad en TDS (ppm)
1	6,37	263,54	17,25	4,52	6,40	520,00	260,00
2	6,46	279,90	19,06	4,53	6,30	530,00	265,00
3	6,57	280,79	16,81	4,39	6,60	530,00	265,00
4	6,48	237,11	16,62	4,44	6,40	460,00	230,00
5	6,37	228,08	16,37	3,89	6,40	470,00	235,00

Dado que el instrumento de medición profesional solo permite la medición de dos variables, se realiza el cálculo del error relativo únicamente para el potencial de hidrógeno y la conductividad acorde con la definición (FísicaLab, 2021):

$$E_r = \frac{|Valor\ real - Valor\ medido|}{Valor\ real} * 100$$

Siendo:

$E_r$  = error relativo porcentual

*Valor real* = valor obtenido del instrumento externo

*Valor medido* = valor obtenido del prototipo

En este caso se asume como valor real el que se obtiene del instrumento profesional, considerando que es de un fabricante reconocido. De acuerdo con lo anterior, en la siguiente tabla se encuentran los respectivos errores relativos:

*Tabla 6. Errores relativos para el potencial de hidrógeno y la conductividad*

Día	Prototipo		Instrumento externo		Errores relativos	
	pH	Conductividad en TDS (ppm)	pH	Conductividad en TDS (ppm)	Error relativo % pH	Error relativo % conductividad
1	6,37	263,54	6,40	260,00	0,47	1,36
2	6,46	279,90	6,30	265,00	2,54	5,62
3	6,57	280,79	6,60	265,00	0,45	5,96
4	6,48	237,11	6,40	230,00	1,25	3,09
5	6,37	228,08	6,40	235,00	0,47	2,94

Con relación a los resultados obtenidos durante estos cinco días, se puede concluir que los valores de potencial de hidrógeno entre los dos instrumentos de medida son confiables ya que el error relativo se mantuvo siempre entre el 0.5 y el 2.5% y los valores muy cerca del rango permitido por la norma vigente (6.5 a 9).

Para el caso de la conductividad, los valores reportados por los dos instrumentos de medida son, de igual forma, cercanos, dando errores relativos entre 1.36 y 5.96%.

Los errores relativos obtenidos en estas mediciones se consideran aceptables en la medida que son consecuentes con los márgenes de precisión de los fabricantes, recordando que para el sensor de pH es del 10% para el pH y del 5%.

Der igual forma, en la tabla 4, se observa que todas las variables se encuentran dentro de los límites permitidos por la Resolución 2115 del 22 de junio de 2007 (ver tabla 1), y, por consiguiente, las muestras de agua analizadas eran aptas para el consumo humano.

## **6.8 Plan de mejoras mediano plazo**

Teniendo en cuenta que el proceso de validación se realizó conforme a los objetivos, la problemática y la metodología planteada, es importante proponer una serie de mejoras e ideas frente al sistema desarrollado, ante lo cual, se debe tener presente los límites del prototipo mismo. Frente al espacio de almacenamiento en el microcontrolador, se encuentra libre un 28% y, con respecto a la memoria dinámica, las variables globales usan en promedio el 62%. Esto sería suficiente para agregar uno, o tal vez dos sensores más al sistema, sin que signifique problemas de consumo excesivo de recursos. Con respecto al número de puertos disponibles actualmente, se cuenta aún con tres entradas analógicas y siete entradas/salidas digitales libres.

Estas propuestas podrían ser el punto de partida para proyectos futuros relacionados con la medición de la calidad de agua en otros escenarios. Las propuestas son las siguientes:

- Mejorar el diseño gráfico de la aplicación web para que la consulta de los datos sea más agradable al usuario que opera la planta o, en general, a cualquiera que desee conocer el estado de las variables. De igual manera se podría incluir gráficas del histórico de los datos para cada variable, valores promedio por rangos de tiempo y mensaje de alerta en distintos colores según los valores que tengan las variables en cada momento.
- Incluir un sensor que permita conocer en tiempo real la cantidad de agua disponible en el tanque de almacenamiento. Esto podría realizarse por medio de un sensor digital ultrasónico, que, ubicado al borde del tanque, envíe una señal que rebota en la superficie del agua y regresa al prototipo en un tiempo conocido. Con este tiempo y las dimensiones del tanque se puede calcular internamente el volumen de agua restante. Este dato puede llegar a ser importante si se requiere mantener vigilado el volumen del agua para evitar posibles desabastecimientos del líquido en las horas de mayor demanda por los usuarios.
- Incluir un medidor de caudal en el prototipo para evaluar la velocidad del agua en ríos, quebradas o plantas de tratamiento de mayor tamaño o, donde sea pertinente dicho valor.

- Incluir el sensor que mide la cantidad de oxígeno disuelto, variable importante en lo referente a la calidad del agua (DFROBOT, 2021).
- Incluir un sensor para la medición del ORP (potencial de reducción a la oxidación) (DFROBOT, 2021)

## 6.9 Plan de mantenimiento

Teniendo en cuenta que el prototipo, y en general el sistema, está compuesto por diferentes elementos que trabajan en conjunto, es necesario realizar de manera periódica una serie de tareas de mantenimiento. Algunas se realizan debido a la humedad del ambiente en que opera el prototipo, el polvo acumulado, el desgaste natural y otras, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes. A continuación, se establece el programa de mantenimiento recomendado. La tabla indicad las tareas a realizar en función del periodo en meses.

*Tabla 7. Tareas de mantenimiento del sistema de medición.*

Tarea/meses	1/2	1	3	6	12
Cambio de sonda potencial de hidrógeno pH				X	
Cambio de sonda sensor de conductividad					X
Cambio de sensor de temperatura: una vez cada año					X
Calibración de sensores	X				
Limpieza de polvo y contactos electrónicos de las placas y puertos			X		
Revisión de estado general de humedad de la caja contenedora del prototipo		X			
Revisión y limpieza de la base de datos de almacenamiento	X				
Mantenimiento preventivo del servidor web y de base de datos				X	

## 7. Conclusiones

Se desarrolló, para la institución educativa, Liceo Juan Ramón Jiménez, un sistema de medición local y/o remota de las variables: temperatura, potencial de hidrógeno pH, conductividad y turbiedad, el cual permite conocer la calidad del agua que se trata internamente y que es consumida por más de mil personas diariamente. El sistema consta de un prototipo construido con una placa Arduino Uno Rev. 3, cuatro sensores especializados (uno por cada variable) y un escudo ethernet para la conexión a la red. Este prototipo envía cada cinco segundos un arreglo con los datos ya procesados por el microcontrolador a un servidor que los almacena en una base de datos y los presenta al operario de la planta por medio de cualquier navegador web y, en caso de que alguno esté fuera de los valores permitidos por la normativa colombiana, envía un correo electrónico de alerta de forma automática. De esta forma es posible que el operario pueda tomar las medidas preventivas o correctivas que tengan lugar según sea el caso.

La tecnología utilizada para el desarrollo de este proyecto responde y aporta a la tendencia actual en telecomunicaciones, en donde el uso de protocolos de internet, bases de datos de acceso libre, servidores web, placas de hardware como Arduino y sensores especializados, aporta de manera significativa a la solución de problemas en diferentes áreas. De esta manera, el sistema presentado podría ser implementado en otros escenarios en los que sea necesaria la medición centralizada y en tiempo real de distintos conjuntos de variables en sectores como la medicina, robótica, automatización, agricultura, por mencionar algunos.

Se realizó la validación del sistema de medición de acuerdo con los parámetros establecidos en la metodología, en donde se observa que la conexión a la red, la lectura, procesamiento y envío de datos al servidor remoto se hizo según lo esperado. De igual manera se evidencia la recepción, almacenamiento y publicación de la información de cada variable en la pantalla LCD y en el navegador web desde la red interna o desde redes externas a la empresa. Por otro lado, los valores obtenidos de la muestra de agua estuvieron dentro de los rangos permitidos por la Resolución 2115 de junio de 2007, por lo cual, dicha muestra es apta para consumo humano, por lo menos en lo referente a las cuatro variables involucradas.

Dando respuesta a la pregunta orientadora de este proyecto, el desarrollo del prototipo, y en general, del sistema de medición, permite que el operario de la

planta de tratamiento tenga la posibilidad de medir la calidad del agua de manera eficiente después del proceso de potabilización, en primera instancia por medio de la pantalla LCD integrada y también desde cualquier dispositivo con conexión a internet a través de un navegador web. De esta manera o por medio del mecanismo de alerta vía correo electrónico, es posible tomar medidas preventivas o correctivas frente a variables fuera del rango permitido antes de que el agua sea consumida por la población y pueda generar problemas de salud, sin mencionar también el cumplimiento de la norma vigente a nivel nacional sobre calidad del agua. Así mismo, la implementación de un sistema de medición de calidad de agua en otro tipo de escenarios de alta demanda como centros comerciales, aeropuertos, hoteles, conjuntos residenciales conlleva a controles más estrictos sobre el agua que se consume directamente o que se usa para la preparación de alimentos.

A partir del proceso de medición sucesiva reportado y analizado en la sección 6.6, se puede concluir que la precisión y el funcionamiento del dispositivo es adecuado, teniendo en cuenta que las que las medidas fueron comparadas con un instrumento profesional para las variables potencial de hidrógeno y conductividad, dando errores relativos menores al 5% y dentro de los márgenes de precisión de los fabricantes.

## 8. Bibliografía

ABALADEJO, Cristina. ZAMORA, Miguel. "Internet de las Cosas: El futuro Cercano". {En línea}. 2017. {2020} . Disponible en: <https://openlibra.com/en/book/bits-de-ciencia-15>

AHEDO, Juan, AHEDO, Alejandra. "¿Cómo funciona el módulo Arduino Ethernet Shield?". {En línea}. 7 de abril de 2019. (2020). Disponible en: <https://www.web-robotica.com/arduino/como-funciona-el-modulo-arduino-ethernet-shield>

ARDUINO. "What is Arduino". {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

ARÉVALO, Angee. "Prototipo de un sistema de monitoreo de calidad del agua subterránea en instalaciones de captación de una localidad rural del municipio de Tibaná –Boyacá". 01 de noviembre de 2019. {En línea} (2020). Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4769>

BLANCO, Yuleisy, RAMÍREZ, Elkin, SÁNCHEZ, Andrés. "Revisión de sistemas de telemetría en ríos: propuesta para el río Magdalena, Barranquilla, Colombia". Revista: Tecnología y Ciencias del Agua, pp. 298-343. 01 de septiembre de 2020. {En línea}. (2020). Disponible en: <http://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/2161>

BOYD, Claude. "Conductividad eléctrica del agua, parte 1". {En línea} 16 de octubre de 2017. (2020). Disponible en: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/#:~:text=La%20conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20agua,medida%20en%20los%20sistemas%20acu%C3%ADcolas>.

CARPIO, Tatiana. "Turbiedad por nefelometría (método b)". Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia. {En línea}. 15 de junio de 2007. (2020) Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

DASTEC. "Calidad de agua". {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.dastecsl.com.ar/productos/analizadores-de-liquidos/calidad-de-agua/sensores>



DFROBOT. "Turbidity sensor SKU SEN0189". {En línea}. (2021)  
Disponible en: [https://wiki.dfrobot.com/Turbidity\\_sensor\\_SKU\\_SEN0189](https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU_SEN0189)

DFROBOT. "Gravity Analog TDS Sensor Meter For Arduino SKU SEN0244". {En línea}. (2021). Disponible en:  
[https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_TDS\\_Sensor\\_Meter\\_For\\_Arduino\\_SKU\\_SEN0244](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_TDS_Sensor_Meter_For_Arduino_SKU_SEN0244)

DFROBOT. "SEN0161-V2 Gravity Analog pH Sensor Meter Kit V2". En línea}. (2021). Disponible en:  
[https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_pH\\_Sensor\\_Meter\\_Kit\\_V2\\_SKU\\_SEN0161-V2](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2)

DFROBOT. "Gravity: Analog ORP Sensor Meter For Arduino".{En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.dfrobot.com/product-1071.html>

DFROBOT. "Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor / Meter Kit For Arduino". {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.dfrobot.com/product-1628.html>

EAAB. "Plantas de tratamiento". {En línea}. (2021). Disponible en:  
[https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la-infraestructuraAcueducto/sistemas-abastecimiento/plantas-de-tratamiento!/ut/p/z0/rY\\_BTsMwEER\\_JRxytlO1ET2WSLSqREtASMWXaOqYyODYqb1G8Pc4qZAQ5chx583OzjLBDkxYvOsOpJ2FSfOzKJuyrnhxzWc7Pp9VvH68v3nYP1WbZVGwLRM\\_DevbuyWvy1W9X8x3a14WY4J-PZ3EignpLKKPYofBeYKxvpkUS40KOY8hwmuXc8io2ijJZ8ZjISlpBuDNjFtXzxUIJ949MhadWHpIDvnj7DHgPC75OUX\\_1vSIPur5\\_dGzoMOpHqEST4iDVL3Ot1IbDBj1oTIg3DW2fAmjgvTXX0BjERC\\_Q!!/](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la-infraestructuraAcueducto/sistemas-abastecimiento/plantas-de-tratamiento!/ut/p/z0/rY_BTsMwEER_JRxytlO1ET2WSLSqREtASMWXaOqYyODYqb1G8Pc4qZAQ5chx583OzjLBDkxYvOsOpJ2FSfOzKJuyrnhxzWc7Pp9VvH68v3nYP1WbZVGwLRM_DevbuyWvy1W9X8x3a14WY4J-PZ3EignpLKKPYofBeYKxvpkUS40KOY8hwmuXc8io2ijJZ8ZjISlpBuDNjFtXzxUIJ949MhadWHpIDvnj7DHgPC75OUX_1vSIPur5_dGzoMOpHqEST4iDVL3Ot1IbDBj1oTIg3DW2fAmjgvTXX0BjERC_Q!!/)

ESPRUINO. "Arduino Ethernet and SD card shield (WIZnet W5100)". {En línea}. 2017. (2021). Disponible en: <https://www.espruino.com/arduino-w5100>

GUERRERO, Joel. "Arduino Uno: Especificaciones y características". {En línea}. 21 de septiembre de 2014. (2020). Disponible en:  
<https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>

HERNÁNDEZ, Agustín. "¿QUÉ SON LOS MICROCONTROLADORES?". {En línea}. 30 de noviembre de 2014. (2020). Disponible en:  
<https://tallerelectronica.com/2014/11/30/microcontroladores/>

HILL, John, KOLB, Doris. "Química para el nuevo milenio". Octava edición. Prentice Hall. Mexico. Pp 324-344. 1999. (2020)

LANDAZÁBAL, Bibiana. "Pre diseño de la red automática de monitoreo de la calidad del agua del río Cauca en el área de influencia de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca". {En línea}. 1 de enero de 2017. (2020). Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13086>.

LENNTECH. "pH y alcalinidad. Medida de la calidad del agua: el pH". {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>

LEWIS, Jane. "Acidosis". {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es-co/hogar/trastornos-hormonales-y-metab%C3%B3licos/equilibrio-%C3%A1cido-b%C3%A1sico/acidosis>

LÓPEZ, Allan. "Arquitectura AVR (Arduino)". {En línea}. 14 de agosto de 2016. (2020). Disponible en: <https://extractoss.wordpress.com/2016/08/14/arquitectura-avr-arduino/>

LUNA, Julián. "Construcción de un prototipo electrónico para el monitoreo climatológico en cultivos de aguacate en el municipio de Tona, basado en tecnología IoT". {En línea}. 23 de diciembre de 2020. (2021). Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38749>.

MARTÍNEZ, Ronald. "Diseño de un sistema de control mediante IoT para la propagación vegetativa de GUAYABO (PSIDIUM GUAJAVA L.) en el municipio de Vélez." {En línea}. 22 de diciembre de 2020. (2021). Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38754>.

MAXIM INTEGRATED. "Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. DS18B20". {En línea}. (2021). Disponible en: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

MAYO CLINIC. "Colera". {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/cholera/symptoms-causes/syc-20355287>

MELLO, José. "El crecimiento de IoT en un mundo cada vez más conectado: desde el control por voz hasta ciudades enteras conectadas". {En línea}. 03 de mayo de 2021. (2021). Disponible en: <https://www.orange-business.com/es/blogs/el-crecimiento-iot-en-mundo-cada-vez-mas-conectado-desde-el-control-por-voz-hasta-ciudades>

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL., MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 del 22 de junio de 2007.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL – REPÚBLICA DE COLOMBIA. SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO PROGRAMA DE FISICOQUÍMICA AMBIENTAL. {En línea}. (2021). Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

NMHEALTH. “Disentería (Shigelosis). Manual for Investigation and Control of Selected Communicable Diseases New Mexico Department of Health, Epidemiology and Response Division, Infectious Disease Epidemiology Bureau”. {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.nmhealth.org/publication/view/general/5135/>

OLMO, Mariano. “¿Qué es la temperatura?. Hyperphysics”. {En línea} 2017. (2020). Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/hframe.html>

OMS. “Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1. Recomendaciones”. {En línea}. (2020) Recuperado de: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf?ua=1](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1)

OMS. “Agua. Datos y cifras”. {En línea}. 14 de junio de 2019. (2020). Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

OPS. “Esquistosomiasis”. {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/esquistosomiasis>

PRADILLO, Beatriz. “Parámetros de control del agua potable”. {En línea}. 12 de septiembre de 2016. (2021). Disponible en: <https://www.iaqua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>

ROJAS, Diana. “Análisis de los índices de calidad de agua potable (IRCA) en el departamento de Boyacá durante el periodo 2016-2019”. {En línea}. 23 de diciembre de 2020. (2021). Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38787>.

ROJAS, Luzmila. “Sistema de sensores de IoT para el control de variables en un cultivo de fresa en la Sabana de Bogotá”. {En línea}. 06 de mayo de 2020. (2021). Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/33791>.

SÁNCHEZ, Camilo. “2020: a consolidar la gestión en agua potable y saneamiento”. {En línea}. (2021). Disponible en: <https://www.portafolio.co/opinion/camilo-sanchez/2020-a-consolidar-la-gestion-en-agua-potable-y-saneamiento-analisis-camilo-sanchez-ortega-538324>

SÁNCHEZ-MONJE, María. “Fiebre tifoidea”. {En línea}. 5 de noviembre de 2020. (2021). Disponible en: <https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/viajero/fiebre-tifoidea.html>

VIDELA, Pablo. “Desarrollo iterativo e incremental”. {En línea}. (2021). Disponible en: <https://proyectosagiles.org/desarrollo-iterativo-incremental/>

## 9. Anexos

### 9.1 Proceso de calibración de sensores

Una vez que se ha realizado la conexión entre las placas y los sensores, se realiza un primer proceso de calibración con el objetivo de validar que no existan defectos de fábrica en estos, y que la comunicación y el procesamiento de las señales por parte del microcontrolador funcione correctamente.

#### 9.1.1 Sensor de potencial de hidrógeno pH

El esquema de conexión se muestra en la siguiente figura. La salida de voltaje de la tarjeta convertidora se conecta al pin analógico A2 del Arduino, el pin de alimentación a 5V y el de tierra a la tierra del circuito.

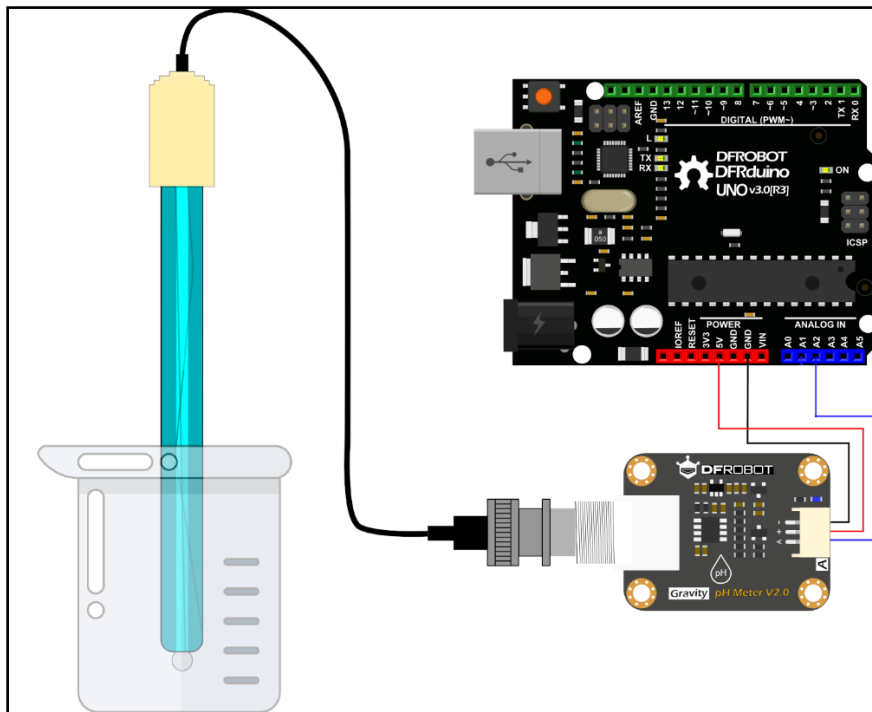


Figura 30. Esquema de conexión del sensor de pH con el Arduino Uno

Fuente:

[https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_pH\\_Sensor\\_Meter\\_Kit\\_V2\\_SKU\\_SEN0161-V2](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2)

Para el proceso de calibración se utilizan dos puntos, para lo cual se necesitan dos sustancias con valor de pH conocido (Buffer de calibración), los cuales, para este caso, vienen incluidos en el kit adquirido.

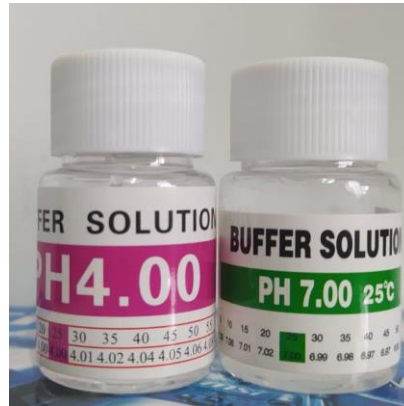


Figura 31. Buffers de calibración de pH.

Fuente: el autor

### Paso 1

Cargar el siguiente código de la figura 23 en el IDE de Arduino y abrir el monitor serial para observar los valores iniciales de pH y temperatura. Se recomienda utilizar un sensor de temperatura y llamar a la función correspondiente para lograr lecturas más precisas.

Antes de realizar la calibración con cada buffer, la punta de la sonda debe ser lavada con agua pura (preferiblemente destilada) y secada con una toalla de papel o tela que no desprenda motas.

### Paso 2

Insertar la sonda en la solución buffer estándar de 7.0 y mover gentilmente por unos segundos hasta que el valor de pH que se muestra en el monitor serial sea estable.

### Paso 3

En el monitor serial ingresar el comando `enterph` para ingresar al modo de calibración.

Ingresa el comando `calph` para iniciar de forma automática el proceso de calibración. El programa identificará en cuál de las dos soluciones está sumergida la sonda y mostrará un mensaje `>>>Buffer Solution: 7.0` o `4.0` según el sea el caso.

Para que estos cambios se guarden se debe ingresar el comando `exitph`. El proceso se debe repetir de igual forma con la sonda sumergida en el buffer de 4.0 después de haber sido lavado y secado.

```
pH
#include "DFRobot_PH.h" //libreria para Sensor de pH
#include <EEPROM.h>
#include <OneWire.h> //libreria del DS18B20
#include <DallasTemperature.h> //libreria del DS18B20

#define PH_PIN A2
float voltage, pHValue, temperatura;
DFRobot_PH ph;

const int pinDatosDQ = 9; // pin de datos sensor de temperatura DS18B20 D4 (GPIO2)*/
OneWire oneWire(pinDatosDQ); // configuración de la instancia oneWire para comunicarse con cualquier dispositivo OneWire */
DallasTemperature sensors(&oneWire); // se pasa nuestra referencia oneWire al sensor Dallas temperature*/

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  ph.begin();
}

void loop()
{
  static unsigned long timepoint = millis();
  if(millis()-timepoint>1000U){ //intervalo de: 1s
    timepoint = millis();
    sensors.begin(); //inicializamos el sensor DS18B20*/
    sensors.requestTemperatures(); //solicita la lectura de la temperatura al sensor
    float temperatura = sensors.getTempCByIndex(0); //carga el valor de la temperatura en grados Celsius
    voltage = analogRead(PH_PIN)/1024.0*5000; // lectura del voltage
    pHValue = ph.readPH(voltage, temperatura); // convierte el voltaje a pH compensando la temperatura
    Serial.print("temperatura:");
    Serial.print(temperatura,1);
    Serial.print("^C pH:");
    Serial.println(pHValue,2);
  }
  ph.calibration(voltage, temperatura); // proceso de calibración por medio del CMD serial
}
```

*Figura 32. Código de calibración del sensor de pH*

*Fuente: el autor con base en la recomendación del fabricante.*

## 9.1.2 Sensor de conductividad

El esquema de conexión se muestra en la siguiente figura. La salida de voltaje de la tarjeta convertidora se conecta al pin analógico A1 del Arduino, el pin de alimentación a 5V y el de tierra a la tierra del circuito.

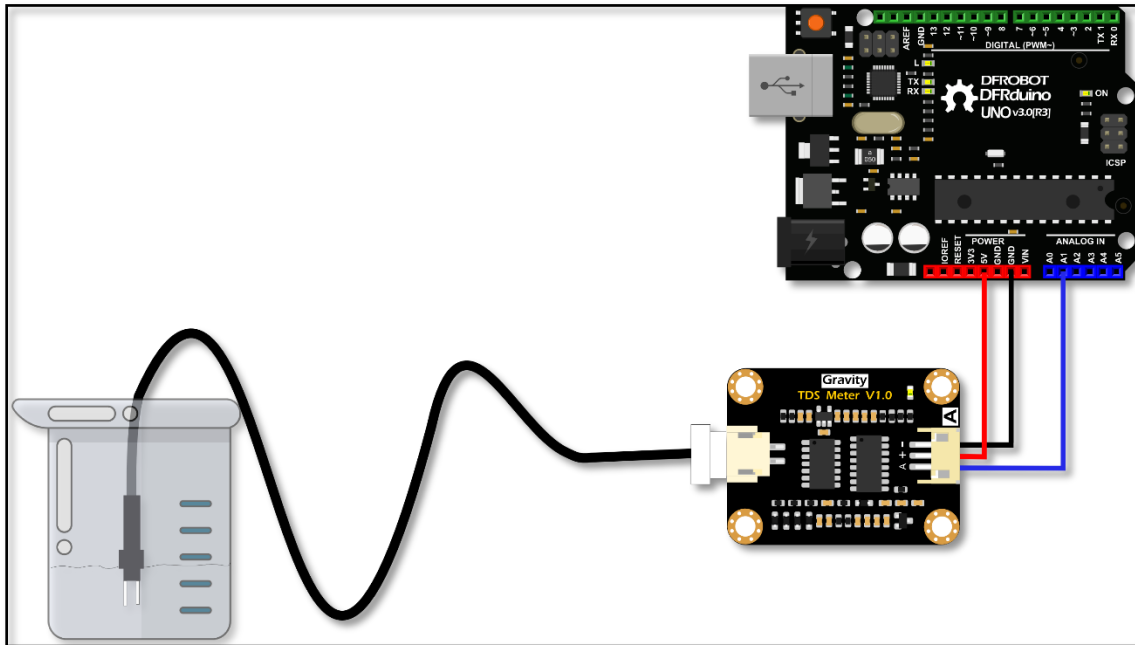


Figura 33. Esquema de conexión del sensor de conductividad en TDS con Arduino Uno.

Fuente: [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_TDS\\_Sensor\\_Meter\\_For\\_Arduino\\_SKU\\_SEN0244](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_TDS_Sensor_Meter_For_Arduino_SKU_SEN0244)

Para el proceso de calibración se requiere de igual forma un buffer de calibración estándar de valor conocido para la conductividad. En este caso se utilizó una solución de  $1413\mu\text{s}/\text{cm}$  que equivale a 707ppm en TDS.

**Paso 1**

Cargar el siguiente código en el IDE de Arduino



```

Conductividad
#include <EEPROM.h>
#include "GravityTDS.h"           //librería del sensor
#include <OneWire.h>             //librería del DS18B20
#include <DallasTemperature.h>   //librería del DS18B20

#define TdsSensorPin A1
GravityTDS gravityTds;

float temperatura, tdsValue = 0;

const int pinDatosDQ = 9;        /* pin de datos sensor de temperatura DS18B20 D4 (GPIO2)*/
OneWire oneWire(pinDatosDQ);    /* configuración de la instancia oneWire para comunicarse con cualquier dispositivo OneWire */
DallasTemperature sensors(oneWire); /* se pasa nuestra referencia oneWire al sensor Dallas temperature*/

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
  gravityTds.setAref(5.0);       //Voltaje de referencia de 5.0V en Arduino UNO
  gravityTds.setAdcRange(1024); //1024 para 10bit ADC;4096 para 12bit ADC
  gravityTds.begin();           //inicialización del sensor
}

void loop()
{
  sensors.requestTemperatures(); //solicita la lectura de la temperatura al sensor
  float temperatura = sensors.getTempCByIndex(0); //carga el valor de la temperatura en grados Celsius
  gravityTds.setTemperature(temperatura); //establece la la temperatura y calcula la compensación
  gravityTds.update();           //toma la muestra y calcula
  tdsValue = gravityTds.getTdsValue(); //obtiene el valor de la conductividad en TDS
  Serial.print(tdsValue,0);
  Serial.println("ppm");
  Serial.println(temperatura);
  delay(1000);
}

float readTemperature()
{
  sensors.requestTemperatures();
  temperatura = sensors.getTempCByIndex(0);
}

```

*Figura 34. Código de calibración del sensor de conductividad en TDS.*

*Fuente: el autor con base en la recomendación del fabricante.*

## Paso 2

Una vez cargado el programa al microcontrolador se accede al monitor serial y se ingresa el comando **enter** para tener acceso al modo de calibración.

Luego se ingresa el comando **cal:707** o el valor en ppm de la solución de calibración que se esté usando. Si el proceso se realiza de manera correcta, debe aparecer un mensaje de confirmación >>>Confirm Successful, K:YYY, donde YYY será un valor numérico que corresponde a la constante de proporcionalidad necesaria al interior de las librerías del sensor para el cálculo de la variable. Para guardar los cambios se ingresa el comando **exit**.

### 9.1.3 Sensor de turbiedad

El esquema de conexión se muestra en la siguiente figura. La salida de voltaje de la tarjeta convertidora se conecta al pin analógico A0 del Arduino, el pin de alimentación a 5V y el de tierra a la tierra del circuito.

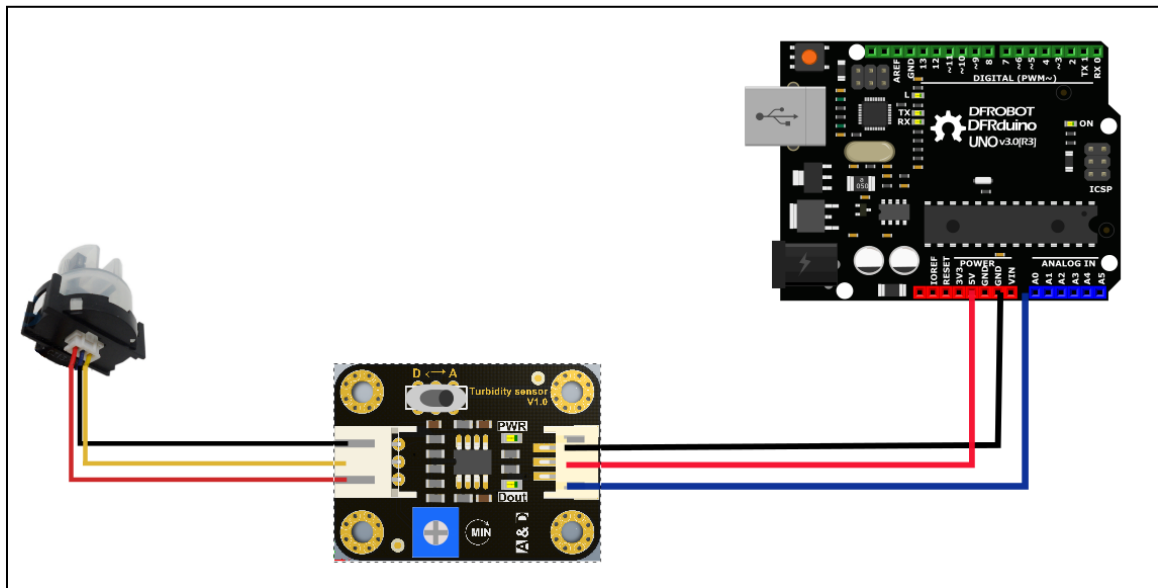


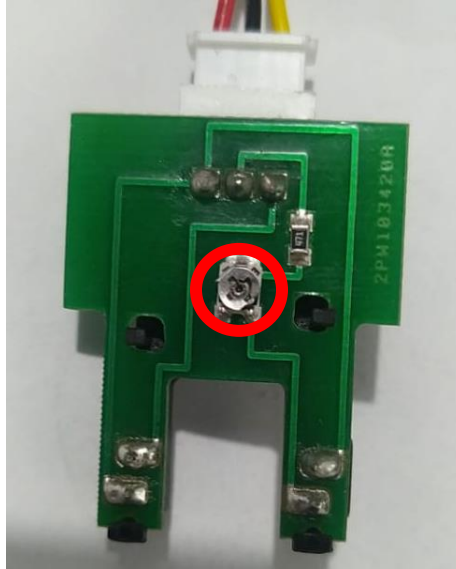
Figura 35. Esquema de conexión del sensor de turbiedad con el Arduino Uno

Fuente: [https://wiki.dfrobot.com/Turbidity\\_sensor\\_SKU\\_SEN0189](https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU_SEN0189)

En el sitio web oficial del fabricante no se especifica el proceso de calibración recomendado y dado que este sensor tiene una salida que va de 0 a 4.5V es preciso ajustar el instrumento para que la medición del parámetro sea lo más cercana a la realidad posible.

Teniendo en cuenta que, según el fabricante, cuando el sensor está en agua pura (visiblemente clara) el valor de turbiedad debe ser menor a 0.5 y el voltaje de salida debería estar en el rango entre 3.8 y 4.4 voltios. Por esta razón se debe hacer una primera medición, cargando el siguiente código en el IDE de Arduino y evaluar que el valor del voltaje de salida sin estar sumergida la sonda y sin obstáculos en medio esté comprendido en dicho rango y así mismo cuando se sumerja en la muestra de agua pura.

En caso de que el valor de voltaje esté muy fuera del rango, se debe quitar la tapa superior de la sonda e ir ajustando con un destornillador de pala, el potenciómetro interno de la tarjeta hasta que marque 4.21V aproximadamente.



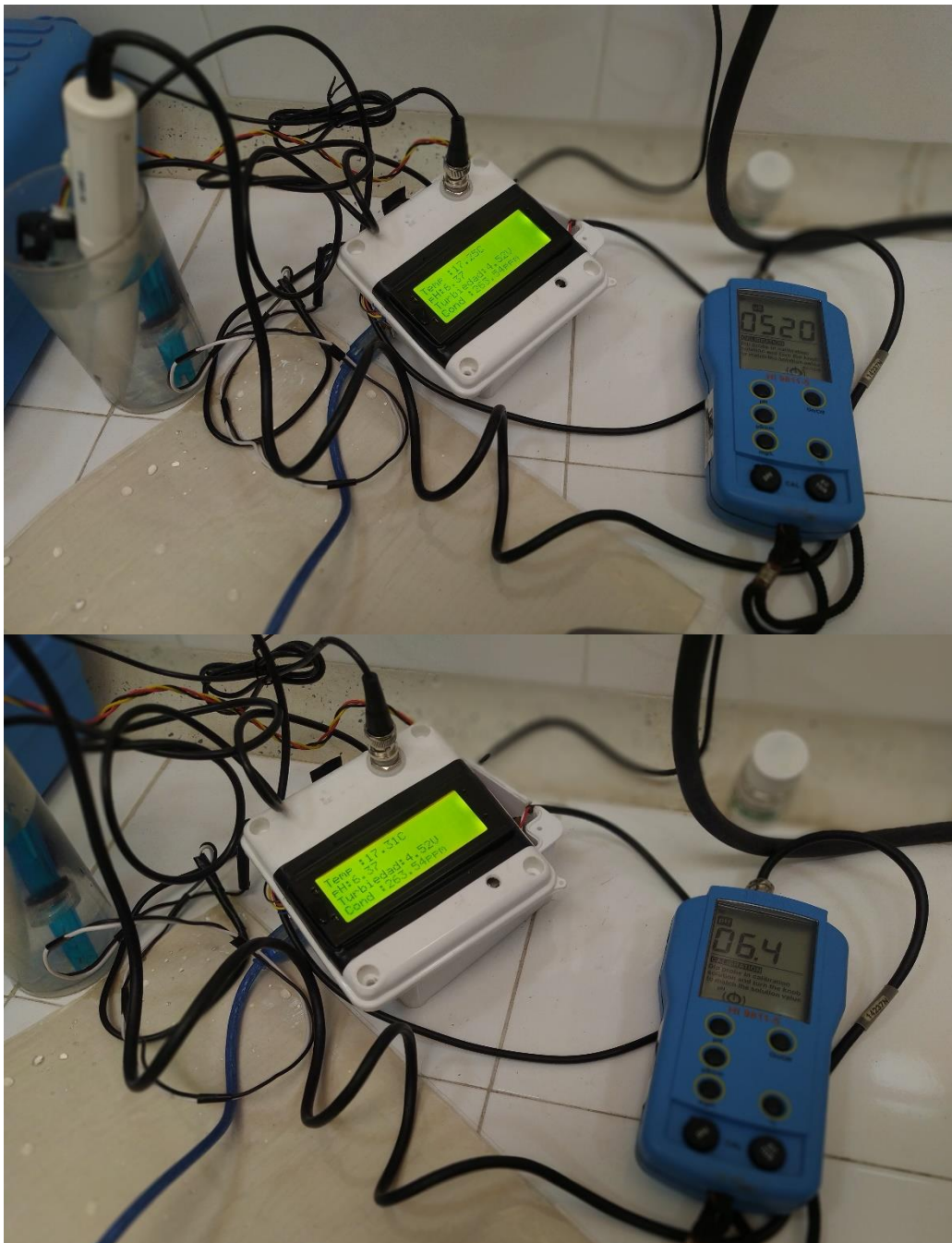
*Figura 36. Tarjeta interna del sensor de turbiedad. En rojo el potenciómetro de calibración*

*Fuente: el autor*

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600); //Baud rate: 9600  
}  
void loop() {  
  int sensorValue = analogRead(A0); // Lectura del pin Análogo A0 conectado a la salida del sensor  
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0); // Conversión de la lectura analógica que va de (0 a 1023) a voltajes de (0 - 5)  
  Serial.println(voltage); // Muestra el valor del voltaje  
  delay(500);  
}
```

*Figura 37. Código de funcionamiento del sensor de turbiedad*

## 9.2 Validación del prototipo con otro instrumento de medición



*Figura 38. Medición de conductividad y pH día 1*



Figura 39. Medición de conductividad y pH día 2



Figura 40. Medición de conductividad y pH día 2



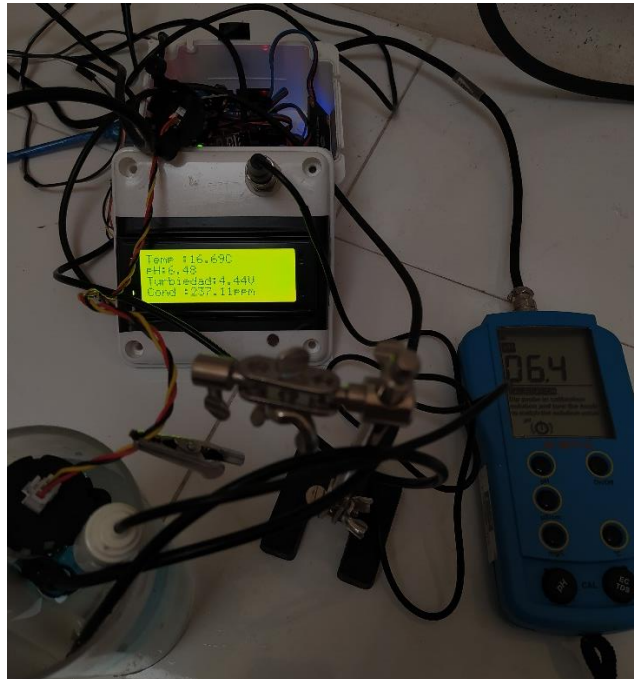
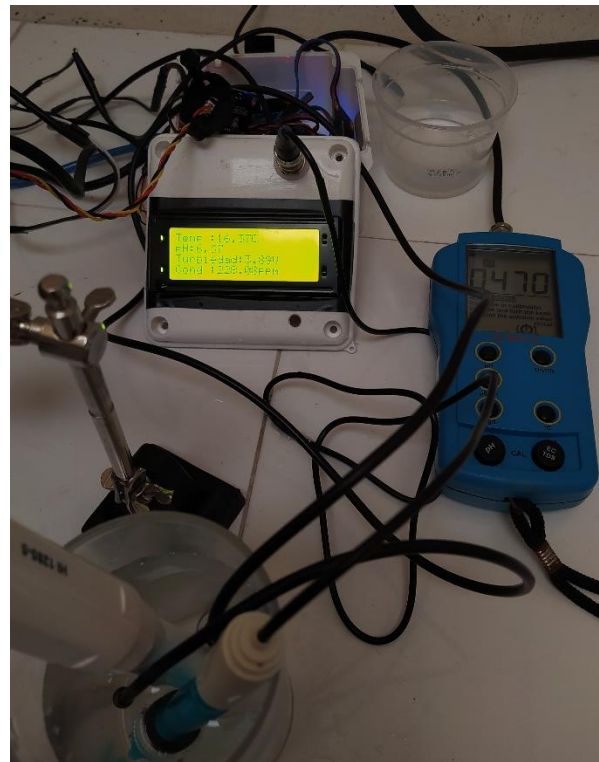




Figura 41. Medición de conductividad y pH día 4



*Figura 42. Medición de conductividad y pH día 5*