



Implementación de un prototipo alimentado con energía fotovoltaica para monitorear la calidad del agua en la Quebrada Grande usando IoT

Diego Alejandro Pedraza Sánchez

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia

2022

Implementación de un prototipo alimentado con energía fotovoltaica para monitorear la calidad del agua en la Quebrada Grande usando IoT

Diego Alejandro Pedraza Sánchez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Director (a):
PhD. Sergio Andrés Díaz Salas

Línea de Investigación:
Internet de las cosas (IoT)

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2022

(Dedicatoria o lema)

*Este gran logro no ha sido fácil de conseguir.
Pero gracias al esfuerzo, dedicación y el apoyo
de amigos y familiares todo ha sido posible.
Por eso quiero dar infinitas gracias a Dios y a
todas las personas que me han acompañado
durante el desarrollo de este gran paso en mi
carrera.*

Diego Alejandro Pedraza Sánchez

Agradecimientos

Agradezco enormemente a todo el personal que hizo parte de mi formación profesional, a todos los docentes que con esfuerzo lograron compartir sus conocimientos y experiencias a cada uno de sus estudiantes. Especialmente a los ingenieros electrónicos de la sede Tunja que siempre se encuentran acompañando y apoyando a cada uno de sus queridos estudiantes.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer al ingeniero Sergio Andrés Díaz Salas por su colaboración, empeño, esfuerzo y dedicación, para la realización de este proyecto.

Contenido

| | |
|--|-----------|
| Contenido | 8 |
| Resumen | 15 |
| Introducción | 17 |
| Planteamiento del problema | 18 |
| Justificación | 20 |
| Objetivos | 22 |
| 1. Marco teórico | 25 |
| 1.1 Calidad del agua | 25 |
| 1.1.1 Naturaleza del problema | 26 |
| 1.1.2 Definición de términos y conceptos básicos en el análisis de la calidad del agua..... | 26 |
| 1.1.3 Definición de calidad del agua | 27 |
| 1.1.4 Agua cruda o en estado natural..... | 28 |
| 1.1.5 Parámetros físicos, químicos y biológicos | 28 |
| 1.1.6 Definición de índice de calidad del agua | 29 |
| 1.1.7 Toma de muestras en corrientes o canales | 30 |
| 1.2 Energía solar fotovoltaica | 30 |
| 1.2.1 Controlador de carga | 32 |
| 1.2.2 Batería..... | 32 |
| 1.2.3 Irradiación solar | 33 |
| 1.3 Internet de las cosas | 34 |
| 1.3.1 Thingspeak..... | 35 |
| 1.3.2 Arduino | 35 |
| 1.3.3 ESP32 T-CALL | 36 |
| 1.3.4 SIM800L | 38 |
| 1.3.5 Sensores..... | 39 |
| 2. Planteamiento de la solución | 43 |
| 2.1 Construcción del índice de calidad del agua (ICA) | 43 |
| 2.1.1 Conductividad | 43 |
| 2.1.2 pH: | 45 |
| 2.1.3 Fórmula para calcular el índice de calidad del agua (ICA): | 46 |
| 2.2 Implementación de un prototipo para monitorear con IoT la calidad del agua a través de la medición de temperatura, pH y conductividad | 47 |
| 2.2.1 Selección de componentes | 47 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.2.2 | Descripción del prototipo | 48 |
| 2.2.3 | Visualización | 52 |
| 2.2.4 | Calibración sensor de Ph..... | 53 |
| 2.2.5 | Calibración sensor de conductividad | 55 |
| 2.2.6 | Lugar de implementación | 56 |
| 2.3 | Implementación un sistema de alimentación para el prototipo usando energía fotovoltaica, baterías y paneles solares..... | 58 |
| 2.3.1 | Selección de componentes | 58 |
| 2.3.2 | Descripción del sistema | 62 |
| 2.4 | Evaluación del desempeño del prototipo midiendo sus características eléctricas y sus variables de telecomunicaciones..... | 63 |
| 2.4.1 | Desempeño panel solar | 63 |
| 2.4.2 | Consumo del dispositivo | 64 |
| 2.4.3 | Variables de telecomunicaciones | 64 |
| 2.5 | Evaluación del desempeño del prototipo comparando sus mediciones de calidad del agua contra un dispositivo comercial | 67 |
| 2.5.1 | Características técnicas..... | 67 |
| 2.5.2 | Calibración dispositivo comercial | 67 |
| 2.5.3 | Toma de mediciones..... | 68 |
| 3. | Resultados | 69 |
| 3.1 | Calidad del agua | 69 |
| 3.2 | Características eléctricas..... | 73 |
| 3.2.1 | Panel Solar | 73 |
| 3.2.2 | Prototipo..... | 75 |
| 3.3 | Variables de telecomunicaciones | 76 |
| 3.4 | Comparación con dispositivo comercial | 77 |
| 4. | Conclusiones | 78 |
| | Bibliografía | 81 |

Lista de figuras

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 1-1: | Distribución del agua. Fuente: Autor | 25 |
| Figura 1-2: | Escala de pH. Fuente: Autor..... | 29 |
| Figura 1-3: | Altura de muestreo respecto a la profundidad. Fuente: Autor | 30 |
| Figura 1-4: | Funcionamiento célula solar. Fuente:(<i>Paneles Solares: Funcionamiento de La Energía Fotovoltaica</i> , n.d.)..... | 31 |
| Figura 1-5: | Controlador de carga HX-2S-D20. Fuente: (<i>Modulo Carga y Descarga Baterias</i> , n.d.) | 32 |
| Figura 1-6: | Funcionamiento de una batería. Fuente: (<i>Funcionamiento de Una Batería de Ion-Litio - El Blog de Ignacio Mártel</i> , n.d.) | 32 |
| Figura 1-7: | Irradiación global horizontal en Colombia. Fuente: (IDEAM, 2015)..... | 33 |
| Figura 1-8: | Leyenda y convenciones de la figura 2-4. Fuente: (IDEAM, 2015) | 34 |
| Figura 1-9 : | Thingspeak. Fuente: (<i>Más Información - ThingSpeak IoT</i> , n.d.) | 35 |
| Figura 1-10: | Arduino Uno. Fuente: (Novillo et al., 2018) | 36 |
| Figura 1-11: | ESP32 T-CALL SIM800L. Fuente: (<i>Modulo TTGO T-CALL ESP-32 WIFI/BLUETOOTH/SIM800L</i> , n.d.)..... | 36 |
| Figura 1-12: | Relación entre las barras de señal y el nivel de potencia recibido. Fuente: (<i>Introduction to Modern Cellular Network</i> , 2016) | 38 |
| Figura 1-13: | Timing advance. Fuente: Autor..... | 39 |
| Figura 2-1: | Grafica del índice de calidad para la conductividad del agua. Fuente: Autor | 44 |
| Figura 2-2: | Grafica del índice de calidad para el pH del agua. Fuente: Autor | 46 |
| Figura 2-3: | Diagrama de conexiones. Fuente: Autor | 49 |
| Figura 2-4: | Conexión entre módulos . Fuente: Autor | 49 |
| Figura 2-5: | Tamaño del prototipo. Fuente: (<i>Caja Plástica Para Proyectos 19.3 x 20.7 x 9.6 Cm REF11</i> , n.d.) | 50 |
| Figura 2-6: | Programación arduino . Fuente: Autor..... | 50 |
| Figura 2-7: | Programación ESP32 T-CALL . Fuente: Autor | 51 |
| Figura 2-8: | Envío de datos a thingspeak. Fuente: Autor..... | 51 |
| Figura 2-9: | Configuración del canal. Fuente: Autor | 52 |
| Figura 2-10: | Datos necesarios para establecer conexión. Fuente: Autor | 53 |
| Figura 2-11: | Soluciones de calibración de pH. Fuente: (<i>Amazon.Com: Paquete de 15 Soluciones de Calibración de Búfer de PH En Polvo 4.00/6.86/9.18 Para Calibrar Con Precisión El Medidor de PH, Fácil y Preciso Paquetes de Polvo de Calibración Del Probador de PH : Industrial y Científico</i> , n.d.) | 53 |
| Figura 2-12: | La placa de adquisición de señales. Fuente: Autor | 54 |
| Figura 2-13: | Soluciones de calibración de pH preparadas. Fuente: Autor..... | 54 |
| Figura 2-14: | Calibración sensor de pH. Fuente: Autor..... | 55 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| Figura 2-15: | Soluciones estándar de conductividad. Fuente: (<i>Amazon.Com: Gravedad: Sensor de Conductividad Eléctrica Analógico/Medidor V2 (K=1) : Industrial y Científico, n.d.</i>) | 56 |
| Figura 2-16: | Lugar de implementación. Fuente: (<i>Google Earth, n.d.</i>) | 57 |
| Figura 2-17: | Instalación del dispositivo. Fuente: Autor | 57 |
| Figura 2-18: | XL4005 Regulador Step Down. Fuente: Autor | 61 |
| Figura 2-19: | Diagrama sistema de alimentación. Fuente: Autor | 62 |
| Figura 2-20: | Sistema de alimentación. Fuente: Autor | 62 |
| Figura 2-21: | Sensor de voltaje FZ0430. Fuente: Autor | 63 |
| Figura 2-22: | Sensor de corriente ACS712. Fuente: Autor | 63 |
| Figura 2-23: | Multímetro digital UT33C+. Fuente: Autor | 64 |
| Figura 2-24: | Características técnicas medidores de pH. Fuente: Autor | 67 |
| Figura 2-25: | Ajuste pH dispositivo pH-009(I)A. Fuente: Autor | 68 |
| Figura 2-26: | Calibración dispositivo pH-009(I)A. Fuente: Autor | 68 |
| Figura 2-27: | Comparación medidas de pH. Fuente: Autor | 68 |
| Figura 3-1: | Resultados monitoreo de pH. Fuente: Autor | 69 |
| Figura 3-2: | Resultados monitoreo de conductividad. Fuente: Autor | 70 |
| Figura 3-3: | Resultados monitoreo de temperatura. Fuente: Autor | 70 |
| Figura 3-4: | Resultados del índice de calidad del agua en la quebrada. Fuente: Autor | 71 |
| Figura 3-5: | Densidad distribución normal. Fuente: Autor | 72 |
| Figura 3-6: | Probabilidad acumulativa distribución normal. Fuente: Autor | 72 |
| Figura 3-7: | Variación del voltaje en el panel solar. Fuente: Autor | 73 |
| Figura 3-8: | Variación de corriente entre el panel y el reductor de voltaje. Fuente: Autor | 74 |
| Figura 3-9: | Variación en la potencia del panel. Fuente: Autor | 74 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1-1: Especificaciones y características ESP32 T-CALL SIM800L. Fuente: (<i>TTGO T-Call V1.3 ESP32 Con SIM800L 240 Mhz - Tarjeta de Desarrollo</i> , n.d.) | 37 |
| Tabla 1-2: Características sensor de temperatura DS18B20. Fuente:(<i>Sensor de Temperatura DS18B20 Estanco Adafruit 381 BricoGeek.Com</i> , n.d.) | 40 |
| Tabla 1-3: Características sensor de pH E201-BNC. Fuente: (<i>Modulo Sensor de PH Analogo 0 ~ 14 Con Sonda BNC</i> , n.d.) | 41 |
| Tabla 1-4: Características sensor de conductividad DFR0300. Fuente:(<i>Sensor de Conductividad Eléctrica Analógico Para Arduino</i> , n.d.)..... | 42 |
| Tabla 2-1: Índice de la calidad para la conductividad del agua. Fuente: Autor | 44 |
| Tabla 2-2: Índice de la calidad para el pH del agua. Fuente: Autor..... | 45 |
| Tabla 2-3: Calidad del agua según valor del ICA. Fuente: (IDEAM, 2013) | 46 |
| Tabla 2-4: Comparación sensores de pH. Fuente: Autor | 47 |
| Tabla 2-5: Comparación sensores de conductividad. Fuente: Autor | 47 |
| Tabla 2-6: Comparación sensores de temperatura. Fuente: Autor | 48 |
| Tabla 2-7: Comparación sistemas embebidos. Fuente: Autor..... | 48 |
| Tabla 2-8: Comparación paneles solares. Fuente: Autor | 58 |
| Tabla 2-9: Comparación baterías. Fuente: Autor | 59 |
| Tabla 2-10: Consumo de energía aproximado de los dispositivos empleados. Fuente: Autor..... | 60 |
| Tabla 2-11: Comparación módulos carga y descarga de baterías. Fuente: Autor | 60 |
| Tabla 2-12: Irradiación global horizontal Santa Rosa De Viterbo. Fuente: Autor | 61 |
| Tabla 2-13: RSSI. Fuente: (<i>AT+CSQ 与 DBm 的那些事 – Hacper's Blog</i> , n.d.)..... | 65 |
| Tabla 2-14: Calidad de recepción. Fuente: (<i>AT+CSQ - AT Command to Get the Signal Quality Report in GSM Engine « Funny Electronics</i> , n.d.)..... | 66 |
| Tabla 2-15: Timing advance. Fuente: Autor | 66 |
| Tabla 3-1: Consumo de corriente teórico vs real. Fuente: Autor | 75 |
| Tabla 3-2: Modo ahorro energía . Fuente: Autor | 76 |
| Tabla 3-3: Información de la red empleando comandos AT . Fuente: Autor..... | 76 |
| Tabla 3-4: Sensor de pH utilizado en este proyecto vs dispositivo comercial. Fuente: Autor..... | 77 |

Resumen

La calidad del agua afecta de forma directa a todos los seres vivos que hacen uso de ella, y, además, es de suma importancia en cualquier ecosistema. En el municipio de Santa Rosa De Viterbo (Boyacá) existe la fuente hídrica de Quebrada Grande, la cual abastece a gran parte de la población, convirtiéndola en un elemento de suma importancia para el desarrollo de la comunidad. Dicha fuente hídrica se ha visto amenazada por diversos factores que pueden derivar en su contaminación. En este proyecto, se busca la construcción de un prototipo alimentado con energía fotovoltaica que permita el monitoreo de los parámetros del agua: temperatura, pH y conductividad del agua. Para ello, se hará uso del internet de las cosas (IoT), permitiendo un envío y acceso de datos de manera remota. Para evaluar el desempeño del prototipo se medirán sus características eléctricas (consumo de energía y energía recolectada) y sus variables de telecomunicaciones (timing advance, calidad de recepción e intensidad de señal recibida (RSSI)).

Palabras clave: (IoT, calidad, agua, sensor, dato).

Abstract

Water quality directly affects all living beings that make use of it, and it is also of the utmost importance in any ecosystem. In the municipality of Santa Rosa De Viterbo (Boyacá) there is the Quebrada Grande water source, which supplies a large part of the population, making it a very important element for the development of the community. This water source has been threatened by various factors that can lead to its contamination. In this project, the construction of a prototype powered by photovoltaic energy that allows the monitoring of water parameters: temperature, pH and water conductivity is sought. To do this, the Internet of Things (IoT) will be used, allowing data to be sent and accessed remotely. To evaluate the performance of the prototype, its electrical characteristics (energy consumption and collected energy) and its telecommunications variables (timing advance, reception quality and received signal intensity (RSSI)) will be measured.

Keywords: (IoT, quality, water, sensor, data).

Introducción

El municipio de Santa Rosa De Viterbo (Boyacá) se encuentra ubicado en la cordillera oriental a 67 km de la ciudad de Tunja, con una altura de 2.753 m.s.n.m., cuenta con una extensión de 107km de los cuales 103 pertenecen a zona rural, limita al oriente con los municipios de Cerinza y Floresta, al occidente con la ciudad de Duitama, al norte con Belén y Cerinza; al sur limita con los municipios de Nobsa, Tibasosa y Duitama (*EOT Santa Rosa De Viterbo*, 2020). En el municipio se encuentra la Quebrada Grande la cual suministra el 90% de agua a la población urbana (Rodrigues et al., 2013). El desarrollo constante de actividades agropecuarias altera la calidad del agua. Por ejemplo el riego de cultivos, pastoreo y tala de árboles (Secretaría de salud departamental de Boyacá., 2012).

Con el pasar del tiempo la implementación de la tecnología es cada vez más necesaria en procesos industriales de todo tipo. Este proyecto busca integrar la tecnología al proceso de monitoreo de calidad del agua a través de un sistema que mida características físico-químicas del agua y facilite el monitoreo de la fuente hídrica. El uso del internet de las cosas (IoT) permite el monitoreo de datos desde cualquier parte que se requiera tan solo contando con un dispositivo como un computador, celular o tableta, así como una conexión a internet. Es esta tecnología es relativamente nueva y se encuentra en auge siendo implementada tanto en campos industriales como domésticos (Liñán Colina et al., 2016).

El uso de energía fotovoltaica es una excelente opción para alimentar el sistema de monitoreo ya que se puede integrar fácilmente y permite que el dispositivo reciba energía cuando se encuentre en contacto con los rayos del sol. En este proyecto se tendrá en cuenta la evaluación del sistema de alimentación con panel solar para el funcionamiento del prototipo.

Planteamiento del problema

Santa Rosa De Viterbo es un municipio ubicado en el departamento de Boyacá, forma parte de la región andina y la provincia del Tundama, cuenta con dos fuentes hídricas principales que son Quebrada Grande y Quebrada Arriba, la primera abastece de agua para consumo humano al área urbana y parte del área rural del municipio (Dary et al., 2014).

La agricultura y ganadería son las dos actividades primarias que proveen la mayor parte de elementos contaminantes en el agua; la agricultura suma el 70% de consumo de agua a nivel mundial y es causante del vertimiento de contaminantes como químicos, materia orgánica, desechos, sedimentos y sales. En los últimos años han surgido contaminantes en forma de fármacos empleados en la ganadería que junto con los excrementos producidos por los animales suelen llegar a las fuentes hídricas y ecosistemas representando un riesgo para la salud. Los cultivos por su parte también amenazan la calidad del agua, pues están vinculados al uso de pesticidas y elementos químicos como el potasio y el magnesio (FAO and IWMI, 2017).

Existen algunas actividades económicas en los alrededores de la fuente hídrica de Quebrada Grande, como agricultura, ganadería, viviendas cercanas a la rivera de la quebrada, talas y pastoreo los cuales establecen afectaciones contaminantes. Entre las actividades agrícolas de la zona se consideran principalmente cultivos de papa, maíz y zanahoria. También se encuentran afectaciones de origen natural como desestabilización y erosión del terreno, ocasionados por eventos como avenidas torrenciales y movimientos de masa; dichos eventos también generan la afectación de la calidad del líquido ya que producen la presencia de partículas y sólidos disueltos en el líquido (Secretaria de salud departamental de Boyacá., 2012).

El agua es un recurso vital y finito, sin embargo, los contaminantes provenientes de actividades humanas y naturales ejercen una contaminación creciente que hace que mantener la calidad del agua dentro de los parámetros recomendados por la organización mundial de la salud (OMS) y las leyes colombianas sea una tarea cada vez más complicada. Por lo anterior, es menester monitorear y promover el uso de la tecnología, con el fin de conocer en tiempo real el estado del recurso hídrico, superando el inconveniente de las grandes distancias (Sierra, 2011).

En el país se realiza el monitoreo de calidad, por medio de la recolección y análisis de muestras de agua, generando el índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA), este es un indicador por medio del cual se puede relacionar la calidad del líquido y el nivel de riesgo (sin riesgo, bajo, medio, alto e inviable sanitariamente) al que se encuentra expuesta la población por el incumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas de las muestras analizadas, en el mes de agosto del 2021 el municipio de Santa Rosa De Viterbo tuvo un IRCA de 18,882 indicando un nivel de riesgo medio (*Sivilab | INS*, n.d.).

Para abordar el problema del monitoreo de la calidad del agua en sitios remotos, en este proyecto se llevará a cabo el monitoreo de la calidad del agua en una quebrada usando arduino y sensores de temperatura, pH y conductividad. Se empleará la tarjeta ESP32 T-CALL para establecer comunicación vía GSM con la plataforma de IoT llamada ThingSpeak. Además, el dispositivo estará alimentado con energía fotovoltaica y baterías recargables. Para evaluar el desempeño del prototipo se medirán sus características eléctricas y sus variables de telecomunicaciones. Las variables eléctricas que se van a medir son el consumo de energía del dispositivo y la energía recolectada por el panel solar; el objetivo de esta medición es determinar si el panel solar satisface la demanda de energía del dispositivo. Adicionalmente, las variables de telecomunicaciones que se van a medir son: timing advance, calidad de recepción e intensidad de señal recibida (RSSI).

Justificación

El vertimiento de cargas contaminantes en las fuentes hídricas de Colombia es una problemática que incrementa diariamente debido al crecimiento de la población y las actividades económicas. La industria, el sector doméstico, sector cafetero y la minería, contribuyen al vertimiento de contaminantes como mercurio, sólidos suspendidos totales, residuos químicos y carga orgánica biodegradable (*Calidad Del Agua - IDEAM, n.d.*).

En Colombia a más de 6,2 millones de personas se le suministra agua que representa riesgo para la salud y 368.000 de ellos están propensos a que el líquido presente altas concentraciones de bacterias, parásitos, virus y elementos nocivos como minerales y sustancias químicas. El agua contaminada está ligada directamente con el origen y propagación de enfermedades como el cólera, poliomielitis, fiebre tifoidea, hepatitis A, entre otras. En el líquido contaminado también están presentes parásitos y la esquistosomiasis, una afección grave generada por lombrices, afectando a 240 millones de personas en el mundo, principalmente menores de 5 años. Además, 8 de cada 10 muertes de menores de 1 año tienen origen en afecciones vinculadas con el agua; algunas investigaciones mencionan que el acceso a agua potable segura puede reducir hasta un 34% el riesgo de muerte en el primer año de vida (*Cómo Es La Calidad Del Agua En Colombia - Salud - ELTIEMPO.COM, n.d.*).

El agua es fundamental para actividades como el desarrollo socioeconómico, generación de energía, manufactura de alimentos, desarrollo de ecosistemas y subsistencia de seres vivos, también figura en la adaptación al cambio climático y establece un vínculo entre la sociedad y el medio ambiente. Las aguas contaminadas y la carencia de saneamiento dificultan las tareas de erradicación de la extrema pobreza y de las enfermedades en los países más necesitados, también son causa de la mortalidad infantil, ocasionando la muerte a 1.5 millones de niños cada año (Nations, n.d.).

El propósito de recolectar información acerca de la calidad del agua es la obtención de un conjunto de datos que permitan evaluar la potabilidad del recurso hídrico (Pettyjohn, 1972). Se considera conveniente contar con datos en tiempo real y de forma remota para conseguir un monitoreo constante, por lo que se planea diseñar y construir un prototipo que permita una fácil recolección de datos con IoT, que posteriormente de paso a una efectiva toma de decisiones. Así, la incorporación del IoT permite y facilita la toma de datos, su actualización, y posterior análisis (Barrio, 2018). El objetivo de obtener datos sobre los parámetros (temperatura, pH y conductividad) que definen las propiedades de calidad del agua de la quebrada es obtener información que faciliten el análisis de la calidad del agua y la toma de decisiones de los entre reguladores (Barrenechea Martel, n.d.).

Las energías renovables representan fuentes de energía limpias e inagotables, y a diferencia de los combustibles fósiles, son más diversas, abundantes y aprovechables.

Adicionalmente no producen emisiones contaminantes ni gases de efecto invernadero y actualmente se encuentran en crecimiento (*La Importancia de Las Energías Renovables | ACCIONA | BUSINESS AS UNUSUAL*, n.d.). Como fuente de energía se optó por el uso de baterías cargadas por energía solar fotovoltaica, dado que este tipo de energía es gratis, abundante, accesible y amigable con el medioambiente. Adicionalmente, la energía solar se puede utilizar en una gran variedad de aplicaciones como telefonía rural, telecomunicaciones, televisión rural, estaciones meteorológicas, entre otras (Buitrago, 2005).

Objetivos

Como objetivo general se plantea:

Diseñar un prototipo alimentado con energía fotovoltaica para monitorear la calidad del agua en la quebrada Grande usando IoT.

Objetivos específicos:

- Implementar un prototipo para monitorear con IoT la calidad del agua a través de la medición de temperatura, pH y conductividad.
- Implementar un sistema de alimentación para el prototipo usando energía fotovoltaica, baterías y paneles solares.
- Evaluar el desempeño del prototipo midiendo sus características eléctricas y sus variables de telecomunicaciones.
- Evaluar el desempeño del prototipo comparando sus mediciones de calidad del agua contra un dispositivo comercial.

1. Marco teórico

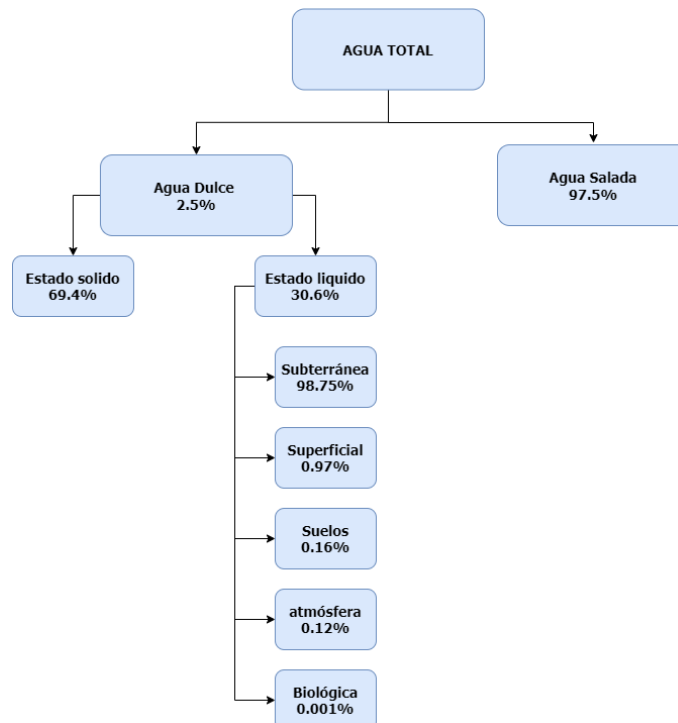
En esta sección se abordan conceptos fundamentales para la realización del trabajo de grado tales como: **i) Calidad del Agua, ii) Energía solar fotovoltaica, iii) Internet de las cosas.**

1.1 Calidad del agua

El agua fluye de forma natural a través lagos, ríos, océanos, glaciares y la atmosfera de la tierra; de este modo, el agua circula constantemente a través de los procesos de evaporación y precipitación, este fenómeno es conocido como el ciclo del agua.

Del agua existente en el planeta, tan solo el 2.5% es agua dulce, el porcentaje restante corresponde a agua salada presente en mares y océanos. El 69.4% del agua dulce se encuentra en estado sólido, y el 30.6% es agua en estado líquido (Blanco, 1999).

Figura 1-1: Distribución del agua. Fuente: Autor



El agua es el componente más importante del cuerpo humano y del planeta tierra. Tiene una gran incidencia en los procedimientos bioquímicos que se presentan en la naturaleza. Esta incidencia se debe a sus propiedades fisicoquímicas, así como sus constituyentes orgánicos. El agua contribuye en la eliminación de sustancias resultantes de los procesos bioquímicos que se llevan a cabo en el cuerpo humano, así mismo el flujo de agua en el organismo puede llegar a transportar sustancias tóxicas que pueden poner en peligro a diferentes órganos.

Las principales fuentes de agua para consumo humano son de origen superficial, constituidas por ríos, embalses, lagos, etc. La contaminación de aguas superficiales es un problema grave, ya que estas suelen ser usadas como destino final para residuos industriales y domésticos. Los vertimientos de estos residuos alteran la calidad del agua y hacen que el proceso de potabilización resulte cada vez más complicado y costoso.

Además, fenómenos de origen natural como la desestabilización y erosión del terreno arrastran sedimentos que alteran la calidad del líquido de las fuentes superficiales, sin embargo, la acción más relevante en la variación de la calidad del líquido es la actividad humana. Actividades industriales, minería, agricultura y vertimiento de residuos son los culpables del mal estado en que se encuentran nuestras fuentes hídricas (Sierra, 2011).

1.1.1 Naturaleza del problema

El problema surge esencialmente por el vertimiento de residuos provenientes de actividades naturales y humanas, interfiriendo con el uso deseable del agua. Afectando el abastecimiento municipal e industrial. Los problemas de contaminación obstaculizan las aplicaciones benéficas del líquido, un ejemplo es la interferencia en la vida de especies acuáticas en aguas con una concentración baja de oxígeno disuelto y la causa de enfermedades por consumo de agua que contiene metales pesados (Sierra, 2011).

1.1.2 Definición de términos y conceptos básicos en el análisis de la calidad del agua

En esta sección, se presentan conceptos fundamentales para el análisis de la calidad del agua, tales como, la carga contaminante, el flujo contaminante, entre otros (Sierra, 2011).

- **Carga contaminante:** Los vertimientos líquidos suelen expresarse en términos de carga (W).

$$W = Q * \frac{m}{V} \Rightarrow W = \frac{m}{t} \quad (1.1)$$

Donde:

m: masa de un contaminante.

Q: caudal.

V: volumen.

t: tiempo

- **Flujo contaminante:** Este se usa para designar la tasa de movimiento de un contaminante en una determinada área.
- **Operaciones unitarias:** Método mediante el cual se cambian las características del líquido por medio de una acción física, un ejemplo es cuando se coloca en un canal una malla que separa materiales grandes del líquido.
- **Procesos unitarios:** Método mediante el cual se cambian las características del líquido, agregando un elemento químico o un agente biológico, un ejemplo es la mezcla de agua con cloro para su desinfección.
- **Agua Potable:** Agua apropiada para el consumo humano, libre de microorganismos perjudiciales para la salud, sustancias químicas peligrosas; se caracteriza por ser estéticamente aceptable.
- **Reacción química:** Es la alteración de una molécula o elemento químico cuando es mezclado con otro.
- **Concentración:** Es la forma de expresar la cantidad presente de determinado soluto que se encuentra contenido en el líquido. Esta se mide en peso de soluto (mg, g, lb, ...) por unidad de volumen (litro, m³, ...). También se puede expresar en términos de porcentaje.

1.1.3 Definición de calidad del agua

Es complejo dar una definición concreta de calidad del agua ya que existen gran cantidad de variables complejas que describen el estado de un cuerpo de agua, además los métodos de análisis de calidad del agua han evolucionado con el tiempo y con sus distintas aplicaciones. La representación de la calidad del agua se realiza principalmente de dos formas:

- A través de la medición de variables físicas, químicas o biológicas (pH, conductividad, sólidos totales, bioensayos, entre otros).

- Utilizando un índice de la calidad del líquido.

Las dos formas son efectivas y las mediciones requeridas se realizan en campo o laboratorio, así mismo cada dato recolectado debe ser interpretado para dar una descripción de la calidad del agua. Es posible analizar la calidad del líquido de acuerdo a su estado, por lo que se realiza una distinción entre agua cruda, aguas residuales y agua tratada o potable (Sierra, 2011).

1.1.4 Agua cruda o en estado natural

El agua cruda es aquella que se encuentra en el medio ambiente (lluvia, océanos, ríos, quebradas, lagos, etc.) y que no se ha modificado su estado natural. La calidad del agua cruda depende de la ubicación geográfica, origen de la fuente (superficial, subterránea, mar, entre otros) y hábitos de la población. Las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano son las aguas superficiales y subterráneas.

Las aguas superficiales se encuentran conformadas por embalses, lagos, ríos, quebradas, etc. La actividad humana como la minería y agricultura, así como fenómenos naturales como la erosión. Son la causa de que estas aguas presenten condiciones de calidad que varían con el tiempo.

Las aguas subterráneas suelen tener condiciones de calidad más uniformes y diferentes que las aguas superficiales, son más claras porque reciben menos contaminantes. También son más mineralizadas debido a la capacidad de disolver los estratos de la tierra, especialmente en terrenos ricos en manganeso y hierro (Sierra, 2011).

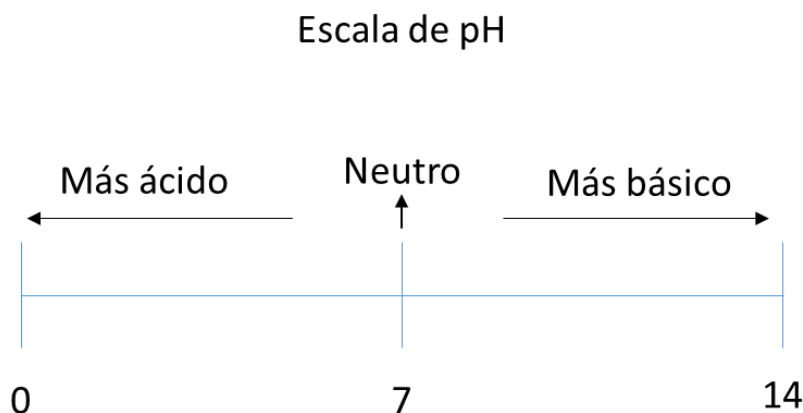
1.1.5 Parámetros físicos, químicos y biológicos

Para conocer que tan pura o contaminada se encuentra en agua es necesario la medición de ciertos parámetros, dichos parámetros se encuentran clasificados como físicos, químicos y microbiológicos, existen muchos parámetros y hay diversas formas y métodos para medirlos. Este proyecto está enfocado en la medición del parámetro físico temperatura y los parámetros químicos conductividad y pH (Sierra, 2011).

- **Temperatura:** Es un parámetro físico de suma importancia, además de influir en la viscosidad y velocidad de reacciones químicas, también influye en procesos como la coagulación y sedimentación, también influye en el retardo a aceleración de la actividad biológica y la disposición de oxígeno en el líquido, esta varia continuamente debido a múltiples factores, principalmente ambientales.

- **Conductividad:** Este parámetro es un indicador de las sales disueltas en el líquido, también determina la cantidad de iones, principalmente calcio, magnesio, sodio, fosforo, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se da en medidas de micromhos/cm o siemens/cm. El agua pura actúa como un aislante eléctrico, siendo las sustancias o solidos disueltos en ella los causantes de que el líquido obtenga la cualidad de conducir la corriente eléctrica, cabe resaltar que las aguas corrosivas son aquellas que contienen grandes niveles de conductividad.
- **pH:** Este término expresa la intensidad de las condiciones acidas o básicas del líquido. Se sabe que el potencial de hidrogeno (pH) siempre se encuentra en una escala de 0 a 14, como se plasma en la figura 1-2.

Figura 1-2: Escala de pH. Fuente: Autor



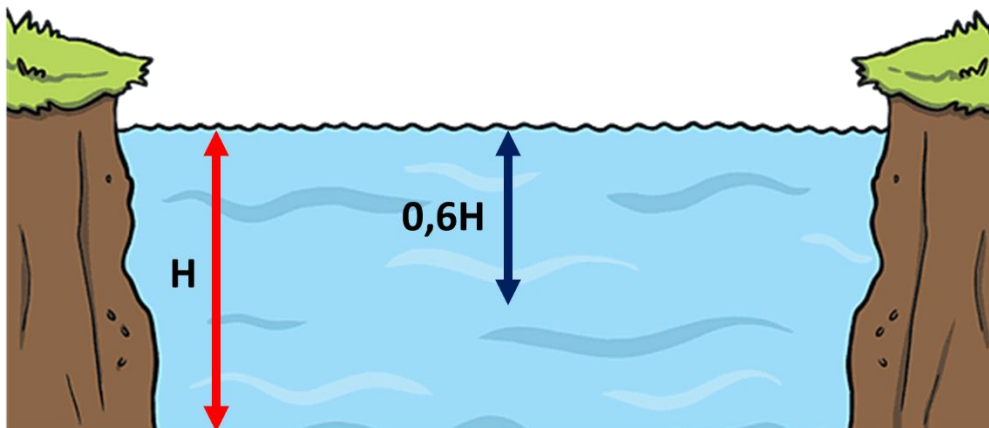
1.1.6 Definición de índice de calidad del agua

Calidad del agua es un criterio relativo que cambia según el uso que va a tener el agua que se pretende evaluar. La forma de evaluar el líquido será diferente dependiendo si el líquido se va a usar para riego, mantenimiento del ecosistema, transporte o consumo humano. Es claro que no existe un parámetro o variable que permita determinar la calidad del líquido en un determinado tiempo o lugar. Un índice de calidad del agua es una expresión en la cual se combinan diversos factores de tipo climático, geográfico y morfológico con las características biológicas y fisicoquímicas del agua, teniendo en cuenta las particularidades de la zona (Sierra, 2011).

1.1.7 Toma de muestras en corrientes o canales

Las estaciones de muestreo deberían ubicarse preferiblemente en sitios de fácil acceso y con secciones estables que permitan obtener una muestra representativa, en caso de muestras para análisis de consumo humano, el punto de muestreo será un lugar cercano al punto de captación. Y preferiblemente a una altura de $0,6H$ respecto a la profundidad del canal o corriente como se muestra en la figura 1-3. Un programa de muestreo es una tarea que exige un estricto planteamiento y diseño. Las muestras se deben obtener con los objetivos en mente, estos objetivos se establecen según las características de interés, a una determinada precisión y con un costo razonable (Sierra, 2011).

Figura 1-3: Altura de muestreo respecto a la profundidad. Fuente: Autor



1.2 Energía solar fotovoltaica

El desarrollo socioeconómico a nivel mundial ha traído consigo una gran demanda de energía eléctrica. El uso de energías renovables, se está presentando de una forma cada vez más frecuente, pues se puede abastecer la demanda de energía con sistemas híbridos, es decir una combinación de fuentes renovables y energías obtenidas por combustibles fósiles. Para sostener una civilización moderna es muy importante el acceso a la electricidad, esta permite el desarrollo de actividades socioeconómicas, así como una mejor calidad de vida. Por lo que la falta de acceso a la electricidad puede limitar actividades importantes como la provisión de servicios públicos, actividades económicas, adopción de tecnologías, entre otros.

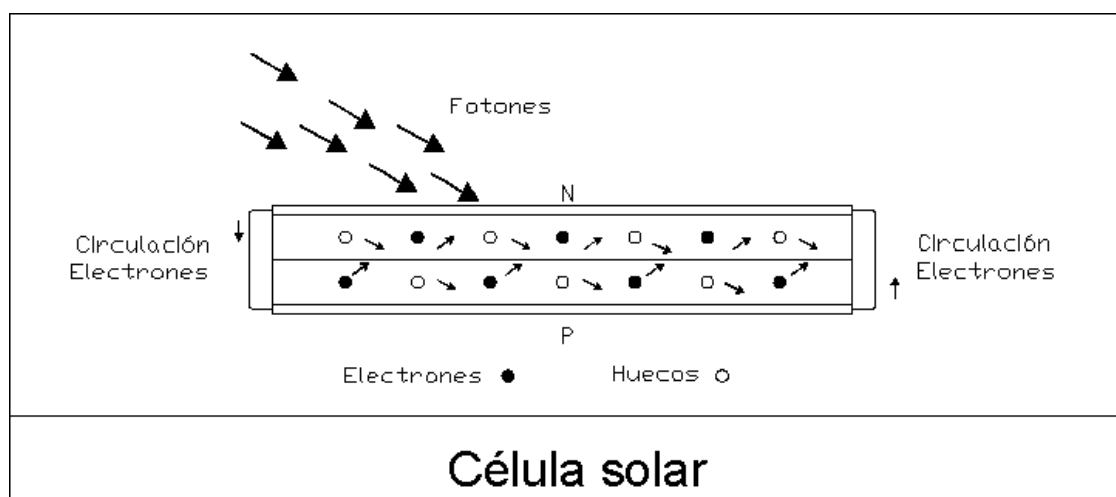
Gracias a diversas intervenciones gubernamentales las fuentes de energía renovables son cada vez más rentables y hoy en día representan un tercio de la generación total de energía

a nivel mundial. La más comunes comercialmente son la energía eólica y la energía solar fotovoltaica. La investigación e instalación de este tipo de energías han permitido importantes avances tecnológicos e implementaciones a gran escala. Ya que este tipo de energía presentan intermitencias debido las fluctuaciones meteorológicas. Se está optando por el uso de sistema híbridos autónomos y conectados a la red. Este tipo de sistemas han demostrado ser más amigables con el medio ambiente y económicamente competitivos en comparación del uso de energías generadas únicamente por combustibles fósiles.

La combinación de varias fuentes de energía puede compensar la naturaleza variable de las salidas para producir una potencia de salida más confiable, además ayuda con la reducción de emisiones globales de CO₂, aumentando la sostenibilidad en los procesos de generación de energía. Los avances tecnológicos han permitido un aumento considerable en la adopción de energías renovables, tanto para aplicaciones de pequeña y gran escala. Esto a su vez ha incrementado el acceso y la eficiencia a tecnologías, proporcionando equipos más eficientes y económicos. La energía solar es una de las principales opciones para aumentar la producción global de energía renovable y la reducción de gases de efecto invernadero (Babatunde et al., 2020).

La energía solar es abundante y rentable a cualquier escala y a diferencia de los combustibles fósiles, no existe ningún costo por el combustible por lo que, si sigue disminuyendo el costo de fabricación de equipos, puede llegar a convertirse en la fuente de energía más barata. Las celdas solares fotovoltaicas (FV) transforman los fotones emitidos por el sol en carga eléctrica. La interacción entre los fotones del sol y la capa superficial de la celda generan un movimiento de electrones que dan paso a la producción de energía eléctrica en el panel solar (ver figura 1-4) (Joseph P. O'Connor, 2016).

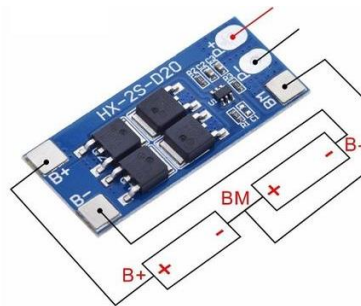
Figura 1-4: Funcionamiento célula solar. Fuente: (*Paneles Solares: Funcionamiento de La Energía Fotovoltaica*, n.d.)



1.2.1 Controlador de carga

Un controlador de carga (ver figura 1-5) es el encargado de proteger la batería, así como la optimización de la energía suministrada por el panel solar. Un controlador de carga controla el flujo de energía según su diseño y está diseñado para que la electricidad fluya en condiciones específicas y de esta forma proteger la vida útil de la batería (Joseph P. O'Connor, 2016).

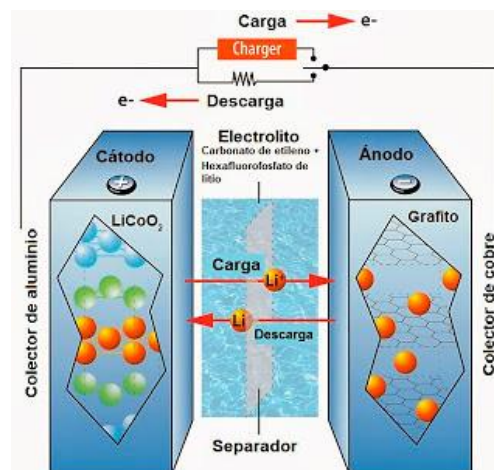
Figura 1-5: Controlador de carga HX-2S-D20. Fuente: (*Modulo Carga y Descarga Baterias*, n.d.)



1.2.2 Batería

Una batería almacena el potencial eléctrico como enlaces químicos, estos químicos se dividen dentro de la batería de tal forma que las moléculas con carga negativa y positiva sean almacenadas en lugares opuestos. Cuando las moléculas se reúnen, se produce energía eléctrica (ver figura 1-6). Existen diversos tipos de baterías con componentes diferentes, pero todas funcionan bajo el mismo principio de mantener o liberar una carga eléctrica (Joseph P. O'Connor, 2016).

Figura 1-6: Funcionamiento de una batería. Fuente: (*Funcionamiento de Una Batería de Ion-Litio - El Blog de Ignacio Mártel*, n.d.)



1.2.3 Irradiación solar

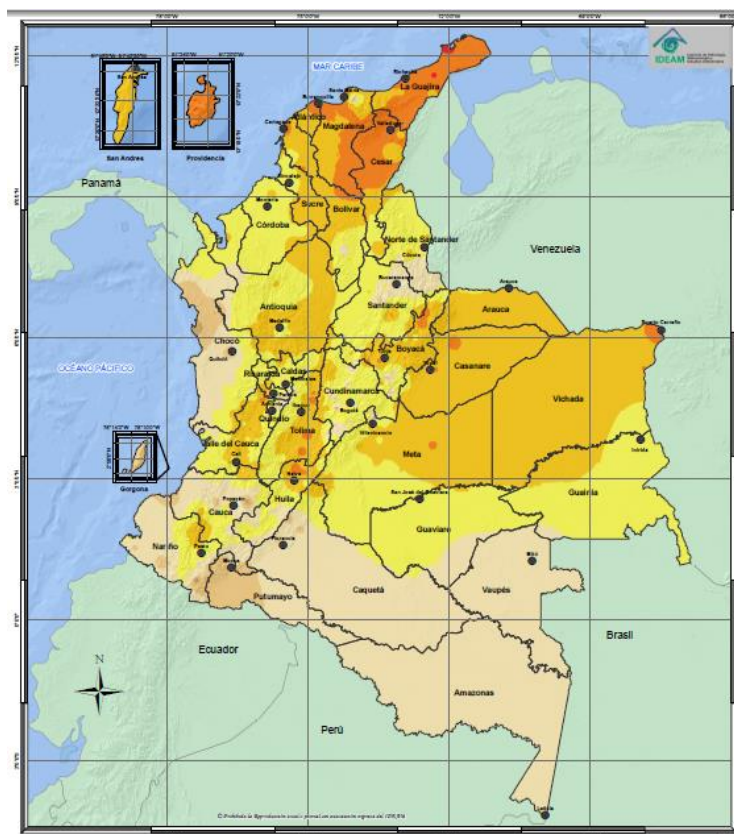
La irradiación solar es el parámetro más importante para la evaluación del potencial solar en una determinada zona, esta puede fluctuar según las condiciones del sitio. Es expresada en unidades de potencia por superficie (W/m^2). Para expresar cantidades en términos de irradiación se suele integrar en el tiempo, utilizando kWh/m^2 por día o por año.

La cantidad de radiación solar no es la misma para todos los puntos la superficie del planeta. La posición y rotación del globo respecto al sol, son los causantes de que en lugares como el ecuador se obtenga más energías que en los polos, así como la llegada de mayores cantidades de energía en ciertas épocas del año.

En la figura 1-7 se expone la irradiación global horizontal para Colombia, expresada en $kWh/m^2/día$. De acuerdo con el mapa de la figura 1-7 los valores de irradiación global horizontal oscilan desde 5,5 y 6,0 $kWh/m^2/día$ (2000 y 2200 $kWh/m^2/año$) en el norte del caribe, hasta 3,0 y 3,5 $kWh/m^2/día$ (1100 y 1280 $kWh/m^2/año$) en parte de la región pacífica (ver figura 1-8).

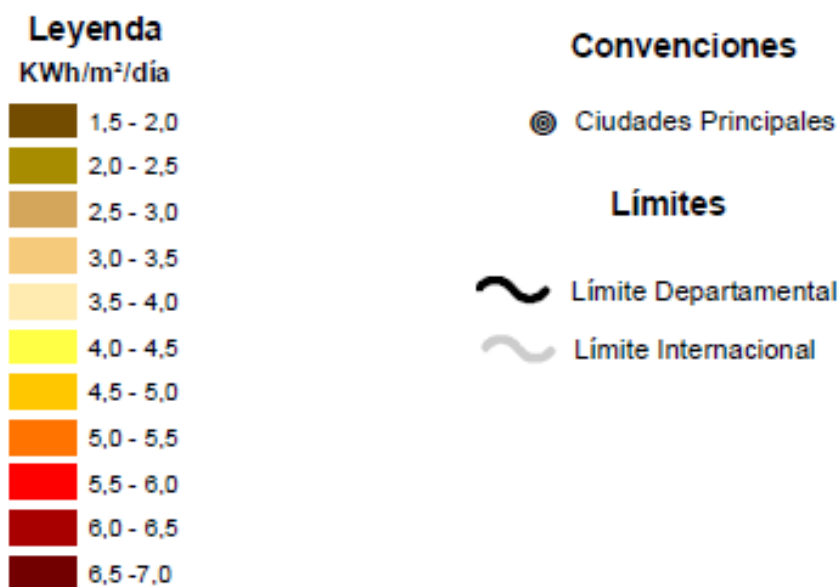
Este tipo de mapas son un estimado de datos obtenidos en observaciones satelitales y de tipo superficial, teniendo en cuenta comportamiento de nubes, vapores de agua, presión atmosférica, dispersión y absorción de luz visible, entre otros (IDEAM, n.d.) .

Figura 1-7: Irradiación global horizontal en Colombia. Fuente: (IDEAM, 2015)



A continuación, se muestra la leyenda y convenciones del mapa mostrado en la figura 1-7 (ver figura 1-8).

Figura 1-8: Leyenda y convenciones de la figura 2-4. Fuente: (IDEAM, 2015)



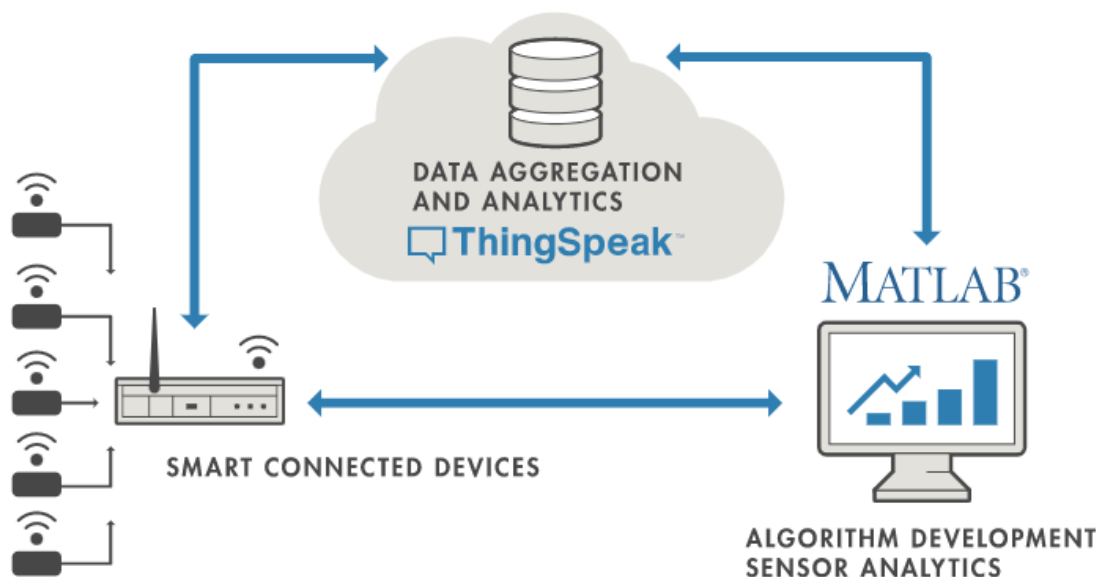
1.3 Internet de las cosas

Internet se refiere a la inmensa cantidad de aplicaciones y protocolos presentes en computadoras e inmensas redes, que tienen como función satisfacer las peticiones de miles de millones de personas en todo el planeta de forma incesante. Internet evoluciona con el pasar del tiempo y surge un enfoque orientado a una integración entre usuarios y dispositivos con la intención de convertir entornos físicos a un contexto virtual, dando origen al término Internet de las cosas (IoT). El IoT tiene como finalidad brindar una estructura que sobrepase los obstáculos entre el mundo físico y su representación en un contexto virtual, esta tecnología ha facilitado el desarrollo de la industria electrónica y de las tecnologías de la información y comunicación TIC (Barrio, 2018). De este modo, el IoT es la herramienta para interconectar los objetos que nos rodean al internet, por ejemplo, carros, neveras, aspiradoras, relojes, peceras, entre otros.

1.3.1 Thingspeak

Es una plataforma de análisis de IoT que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en la nube. ThingSpeak entrega visualizaciones instantáneas de los datos publicados y además, puede ejecutar código de MATLAB realizando el análisis de los datos suministrados (ver figura 1-9). ThingSpeak es muy usado para la creación de prototipos y pruebas referentes a IoT (*Más Información - ThingSpeak IoT, n.d.*).


Figura 1-9 : Thingspeak. Fuente: (*Más Información - ThingSpeak IoT, n.d.*)



1.3.2 Arduino

Existen diversas empresas de hardware libre, siendo arduino la más sobresaliente. Arduino facilita la implementación de placas que cuentan con microprocesadores, así como una programación sencilla. El procesamiento y almacenamiento de información en arduino, se ha convertido en un tema de interés con el creciente uso del internet de las cosas, donde se busca el envío de información proveniente de diversos objetos a internet. Las placas de arduino cuentan con varios puertos de comunicación serial digital y analógica, que permiten comunicación e interacción con el dispositivo (ver figura 1-10) (Novillo et al., 2018).

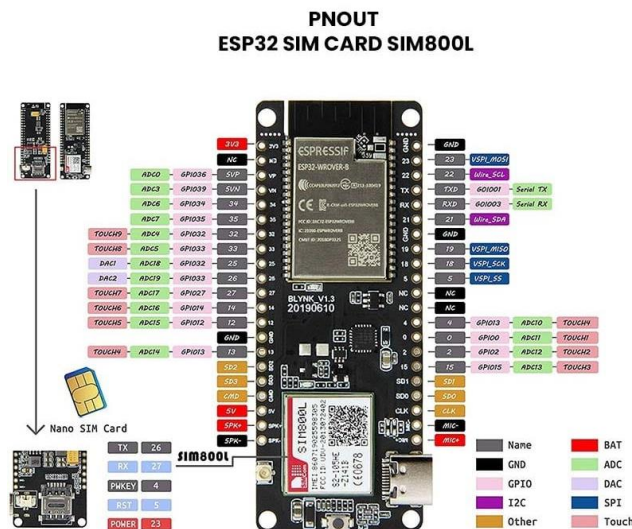
Figura 1-10: Arduino Uno. Fuente: (Novillo et al., 2018)

| ARDUINO UNO | | |
|---|--|------------|
|  <p>Figura 7. Arduino Uno.</p> | Microcontrolador: | ATmega328P |
| | Voltaje de Operación: | 5V |
| | Pines digitales: | 14 |
| | Pines PWM: | 6 |
| | Pines de entradas analógicas: | 6 |
| | Corriente DC por cada pin I/O: | 20 mA |
| | Corriente DC en el pin de 3.5V: | 50 mA |
| | Memoria Flash: | 32 KB |
| | Memoria SRAM: | 2 KB |
| | Memoria EEPROM: | 1 KB |
| Velocidad de reloj: | 16 MHZ | |

1.3.3 ESP32 T-CALL

La tarjeta TTGO T-Call está basada en el chip ESP32 y combina el módulo SIM800L (ver figura 1-11). La tarjeta permite una conexión a internet usando una SIM card con datos o comunicación por llamadas o mensajes de texto. Esta tarjeta es muy útil para proyectos en lugares remotos siempre y cuando se cuente con la red 2G o GSM (*Modulo TTGO T-CALL ESP-32 WIFI/BLUETOOTH/SIM800L*, n.d.).

Figura 1-11: ESP32 T-CALL SIM800L. Fuente: (*Modulo TTGO T-CALL ESP-32 WIFI/BLUETOOTH/SIM800L*, n.d.)



Esta tarjeta se puede programar con el entorno de desarrollo de Arduino IDE y por sus características (ver tabla 1-1) esta mayormente orientada a aplicaciones de internet de las cosas (IoT) (*TTGO T-Call V1.3 ESP32 Con SIM800L 240 Mhz - Tarjeta de Desarrollo, n.d.*).

Tabla 1-1: Especificaciones y características ESP32 T-CALL SIM800L. Fuente: (*TTGO T-Call V1.3 ESP32 Con SIM800L 240 Mhz - Tarjeta de Desarrollo, n.d.*)

| | |
|--|--|
| Características Eléctricas | Voltaje de funcionamiento mediante USB: 5V 1A y mediante batería de Lipo de 3.7V |
| | Corriente de carga para batería Lipo: 500mA |
| | Corriente de trabajo y en sueño: En trabajo 70 mA y en sueño 300uA |
| | Rango de temperatura: -40 °C ~ + 85 °C |
| Especificación de software | IDE programación: Arduino IDE o Micropython |
| | Modo Wi-Fi: Estación / SoftAP / SoftAP + Estación / P2P |
| | Mecanismo de seguridad: WPA / WPA2 / WPA2-Enterprise / WPS |
| | Tipo de cifrado: AES / RSA / ECC / SHA |
| | Desarrollo de software: Soporte de desarrollo de servidor en la nube / SDK para el desarrollo de firmware del usuario |
| | Protocolo de red: IPv4, IPv6, SSL, TCP / UDP / HTTP / FTP / MQTT |
| | Configuración de usuario: Instrucciones AT +, servidor en la nube, android / iOSapp |
| | OS: FreeRTOS |
| WIFI | Estándar: FCC / CE-RED / IC / TELEC / KCC / SRRC / NCC |
| | Protocolo: 802.11 b / g / n (802.11n, velocidad de hasta 150Mbps) Polimerización A-MPDU y A-MSDU, soporte 0.4μS Intervalo de protección |
| | Rango de frecuencia: 2.4GHz ~ 2.5GHz (2400M ~ 2483.5M) |
| | Potencia de transmisión: 22 dBm |
| | Distancia de comunicación: 300 m |
| Bluetooth | Protocolo bluetooth v4.2BR / EDR y estándar BLE |
| | Radiofrecuencia: con -97dBm sensibilidad NZIF receptor Clase-1, Clase-2 y Clase-3 emisor AFH |
| | Frecuencia de audio: frecuencia de audio CVSDSBC |
| 2G GSM / GPRS a través del módulo SIM800L | Banda cuádruple: 850/900/1800 / 1900MHz |
| | Interfaz: Serial UART |
| | Controlado por Comandos AT |

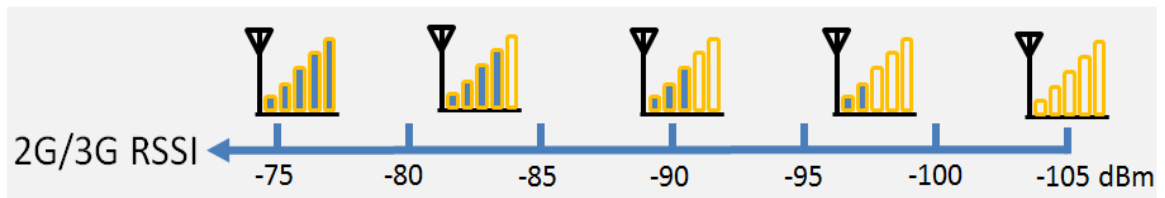
1.3.4 SIM800L

El módulo SIM800L es un dispositivo que opera en las frecuencias GSM850MHz, EGSM900MHz, DCS1800MHz y PCS1900MHz, este permite el uso voz, datos móviles y SMS. Para hacer uso del módulo se debe contar con una micro SIM 2G y conexión a la red 2G o GSM (*Módulos Comunicación : Módulo GSM/GPRS SIM800L*, n.d.).

Para controlar el modulo se emplean comandos AT, los cuales además de controlar las funciones del dispositivo también brindan información de algunas variables de telecomunicaciones como lo son:

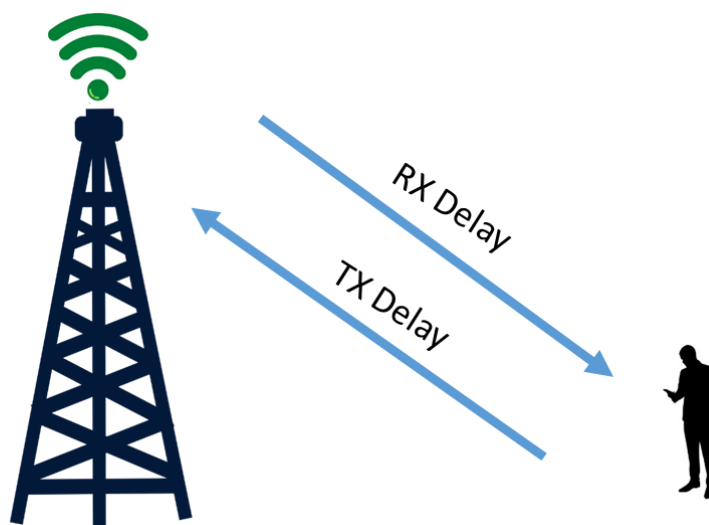
- **Intensidad de la señal recibida (RSSI):** Es un reporte de la calidad de la señal, comprobando la intensidad de la señal recibida, se da en unidades de decibelios (dB) (ver figura 1-12) y varía según la antena del dispositivo y la ubicación del mismo (SIMCom, 2015).

Figura 1-12: Relación entre las barras de señal y el nivel de potencia recibido. Fuente: (*Introduction to Modern Cellular Network*, 2016)



- **Timing advance:** Es un parámetro que permite al protocolo GSM/GPRS determinar los retrasos de la señal en su comunicación con el móvil (ver figura 1-13), se calcula mediante el retardo de los bits de información en el acceso de los datos recibidos (SIMCom, 2015).

Figura 1-13: Timing advance. Fuente: Autor



- **Calidad de recepción:** Es un parámetro de información de la red, el cual da una medición de calidad de recepción y se mide en un rango de 0 a 7 (SIMCom, 2015).

1.3.5 Sensores

Este proyecto empleara 3 sensores para medir variables que permitirán la construcción de un índice de calidad, estos son:

- **Sensor de temperatura DS18B20:**
Este dispositivo permite medir temperaturas entre -55°C a 125°C y se encuentra sellado de tal forma que es posible utilizarlo sumergido en un líquido. Las señales medidas no se degradan con la distancia del cable dado que es un sensor digital. Puede operar en modo 1-wire con resolución de 12 bits y una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Además, pueden conectarse varios sensores en el mismo pin ya que se encuentran programados con un único ID de 64 bits para distinguirlos (ver tabla 1-2) (*Sensor de Temperatura DS18B20 Estanco Adafruit 381 | BricoGeek.Com, n.d.*).



Tabla 1-2: Características sensor de temperatura DS18B20. Fuente: (*Sensor de Temperatura DS18B20 Estanco Adafruit 381 | BricoGeek.Com, n.d.*)

| | |
|---|--|
|  | Rango de temperatura: -55 a 125°C |
| | Resolución: de 9 a 12 bits (configurable) |
| | Interfaz 1-Wire (Puede funcionar con un solo pin) |
| | Identificador interno único de 64 bits |
| | Multiples sensores puede compartir el mismo pin |
| | Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$) |
| | Tiempo de captura inferior a 750ms |
| | Alimentación: 3.0V a 5.5V |

- **Sensor de pH E201-BNC:**

Este dispositivo permite una fácil medición del pH de un líquido en un rango de 0 a 14 ya que se conecta a una tarjeta de adquisición de datos que entrega un valor analógico correspondiente a la medición, también se realiza la calibración de la sonda a través de la placa de adquisición (ver tabla 1-3) (*Modulo Sensor de PH Analogo 0 ~ 14 Con Sonda BNC, n.d.*).

Tabla 1-3: Características sensor de pH E201-BNC. Fuente: (*Modulo Sensor de PH Analogo 0 ~ 14 Con Sonda BNC*, n.d.)

| | |
|--|---|
|  | <p style="text-align: center;">Características de la Tarjeta de Adquisición de Datos</p> <p>Voltaje de Alimentación: 5V DC</p> <p>Consumo de Corriente: 5 ~ 10mA</p> <p>Rango de medición: 0 ~ 14</p> <p>Temperatura de Funcionamiento: 0 ~ 80 °C</p> <p>Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$ (25 °C)</p> <p>Tiempo de respuesta: ≤ 5 segundos</p> <p>Sonda de pH con conector BNC</p> <p>Controlador pH 2.0 (3 pines)</p> <p>Ajuste de ganancia</p> <p>Indicador LED</p> |
|  | <p style="text-align: center;">Características de la Sonda de pH</p> <p>Conexion directa a la terminal de entrada por medio de plug BNC</p> <p>El electrodo de pH es muy preciso y confiable, ademas de que puede proporcionar lecturas de forma inmediata.</p> <p>Rango: 0 ~ 14</p> <p>Temperatura de Funcionamiento: 0 ~ 60 °C</p> <p>Punto cero: 7 ± 0.5 pH</p> <p>Error de alcalinidad : 0.2 pH</p> <p>Resistencia interna: $\leq 250\text{M}\Omega$</p> <p>Tiempo de respuesta: $\leq 1\text{min}$</p> <p>Conector BNC adecuado para diversos medidores y controladores de pH.</p> |

- **Sensor de conductividad DFR0300:**

Este sensor se usa especialmente para medir la conductividad eléctrica de una solución acuosa, principalmente en aplicaciones de medición de calidad del agua. Este trabaja a 5V y entrega valores analógicos de la medición. Para la calibración se utilizan soluciones de conductividad que vienen incluidas con el producto (ver tabla 1-4) (*Sensor de Conductividad Eléctrica Analógico Para Arduino*, n.d.).

Tabla 1-4: Características sensor de conductividad DFR0300. Fuente: (*Sensor de Conductividad Eléctrica Analógico Para Arduino*, n.d.)

| | |
|---|---|
|  | Marca: DFROBOT ITEM #DFR0300 |
| | Voltaje de funcionamiento: 5 VDC |
| | Rango de medición: 1 ms/cm - 20 ms/cm |
| | Temperatura de funcionamiento: 5 - 40 °C |
| | Precisión: $\pm 10\%$ FS (usando Arduino 10 bits ADC) |
| | Longitud del cable del electrodo: Aprox. 60 cm |

2. Planteamiento de la solución

En este capítulo se expondrá la metodología y solución de cada una de las fases del proyecto.

2.1 Construcción del índice de calidad del agua (ICA)

En este proyecto se construirá un índice de calidad aproximado con los valores medidos de conductividad y pH. El procedimiento consiste en calcular un valor entre cero y uno que defina un índice de calidad para cada parámetro según las medidas tomadas en la fuente hídrica (ver ecuaciones 2.1 y 2.2). Posteriormente se agrupan los valores de calidad de cada variable en una ecuación que permite obtener el índice de calidad del agua (ICA) (ecuación 2.3) (IDEAM, 2013).

2.1.1 Conductividad

Esta se encuentra relacionada con la suma de cationes y aniones, refleja la mineralización (IDEAM, 2013).

$$IC = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \text{Log} 10C)} \quad (2.1)$$

Donde:

C = Valor medido de conductividad.

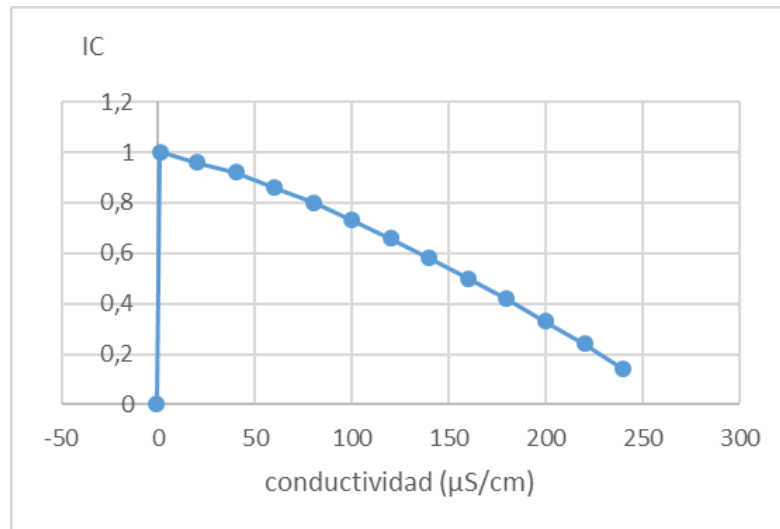
IC = Índice de conductividad (calidad del agua según la conductividad).

Para valores negativos, se tiene un índice de conductividad igual a cero.

Aplicando la fórmula a una serie de valores de conductividad obtenemos los siguientes resultados: (ver tabla 2-1 y figura 2-1)

Tabla 2-1: Índice de la calidad para la conductividad del agua. Fuente: Autor

| conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | IC |
|---|------|
| -1 | 0 |
| 1 | 1 |
| 20 | 0,96 |
| 40 | 0,92 |
| 60 | 0,86 |
| 80 | 0,8 |
| 100 | 0,73 |
| 120 | 0,66 |
| 140 | 0,58 |
| 160 | 0,5 |
| 180 | 0,42 |
| 200 | 0,33 |
| 220 | 0,24 |
| 240 | 0,14 |

Figura 2-1: Grafica del índice de calidad para la conductividad del agua. Fuente: Autor

2.1.2 pH:

Este mide la acides y valores extremos afectan la fauna y flora de la fuente hídrica. La siguientes formulas (2.2) se utilizan para obtener el IpH (valor de 0 a 1 de calidad del agua según el pH) a partir del valor de pH medido en la fuente hídrica. Se utilizan cinco fórmulas para calcular los valores de IpH según los rangos de valores de pH.

$$\triangleright pH < 4 \Rightarrow IpH = 0,1$$

$$\triangleright 4 \leq pH \leq 7 \Rightarrow IpH = 0,02628419 * e^{(pH*0,520025)}$$

$$\triangleright 7 < pH \leq 8 \Rightarrow IpH = 1$$

$$\triangleright 8 < pH \leq 11 \Rightarrow IpH = 1 * e^{[(pH-8)*-0,5187742]} \quad (2.2)$$

$$\triangleright pH > 11 \Rightarrow IpH = 0,1$$

Donde:

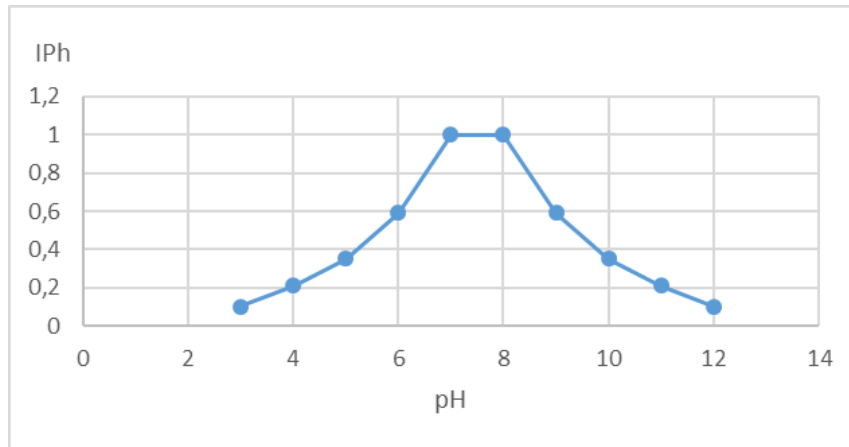
pH = Valor medido de pH.

IC = Índice de pH (calidad del agua según el pH).

Aplicando las formulas a una serie de valores de pH obtenemos los siguientes resultados: (ver tabla 2-2 y figura 2-2)

Tabla 2-2: Índice de la calidad para el pH del agua. Fuente: Autor

| pH | IpH |
|----|------|
| 3 | 0,1 |
| 4 | 0,21 |
| 5 | 0,35 |
| 6 | 0,59 |
| 7 | 1 |
| 8 | 1 |
| 9 | 0,59 |
| 10 | 0,35 |
| 11 | 0,21 |
| 12 | 0,1 |

Figura 2-2: Grafica del índice de calidad para el pH del agua. Fuente: Autor

2.1.3 Fórmula para calcular el índice de calidad del agua (ICA):

Se asignó un índice de calidad para cada parámetro (IC e Iph) basado en las formulas usadas por el IDEAM para el cálculo del índice de calidad del agua en corrientes superficiales. La combinación lineal IC e Iph, junto con el peso asignado a cada variable en este caso el mismo (Ambas variables se consideran igual de importantes) por esto se selecciona $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5$. El IDEAM considera conveniente una ponderación igual para cada una de las variables (IDEAM, 2013).

$$ICA = IC * \alpha_1 + I_{pH} * \alpha_2$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5 \quad (2.3)$$

Los valores que puede llegar a tener el ICA se clasifican en categorías, con el fin de clasificar la calidad del agua, también se asocia un color como señal de alerta como se muestra en la siguiente tabla: (ver tabla 2-3).

Tabla 2-3: Calidad del agua según valor del ICA. Fuente: (IDEAM, 2013)

| Indice de calidad del agua | Calificación | Señal de alerta |
|----------------------------|--------------|-----------------|
| 0,00-0,25 | Muy mala | Rojo |
| 0,26-0,50 | Mala | Naranja |
| 0,51-0,70 | Regular | Amarillo |
| 0,71-0,90 | Aceptable | Verde |
| 0,91-1,00 | Buena | Azul |

2.2 Implementación de un prototipo para monitorear con IoT la calidad del agua a través de la medición de temperatura, pH y conductividad

En este apartado se abordan las secciones 2.2.1 donde se realiza la selección de componentes, 2.2.2 en la cual se da una descripción general del prototipo, las secciones 2.2.3 y 2.2.4 tratan sobre la calibración de los sensores de pH y conductividad, finalmente en la sección 2.2.5 se da a conocer el sitio de implementación del sistema de monitoreo.

2.2.1 Selección de componentes

En esta fase se realizará la comparación de algunos componentes disponibles en el mercado con el fin de seleccionar los que más se adecuen al presupuesto y necesidades del proyecto.

En la tabla 2-4 se comparan algunos sensores de pH disponibles en el mercado.

Tabla 2-4: Comparación sensores de pH. Fuente: Autor

| Sensor | Voltaje de alimentacion | Rango de medicion | Temperatura de funcionamiento | Precision | Tiempo de respuesta | Costo |
|------------|-------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|------------|
| SEN0161-V2 | 3,3-5,5V | 0-14 | 5-60°C | ± 0.1pH (25 °C) | <2min | \$ 226.100 |
| SEN0169 | 5V | 0-14 | 0-60°C | ± 0.1pH (25 °C) | ≤ 1min | \$ 296.681 |
| E201-BNC | 5V | 0-14 | 0-80°C | ± 0.1pH (25 °C) | ≤ 1min | \$ 150.000 |

Se decidió seleccionar el sensor E201-BNC pues sus características se adaptan a las necesidades del proyecto, este cuenta con una precisión de ± 0.1 pH y es el más económico de los sensores comparados en la tabla 2-4. Este sensor también incluye una tarjeta que facilita la calibración y adquisición de señales.

En la tabla 2-5 se comparan algunos sensores de conductividad disponibles en el mercado.

Tabla 2-5: Comparación sensores de conductividad. Fuente: Autor

| Sensor | Voltaje de funcionamiento | Rango de medición | Temperatura de funcionamiento | Precision | Costo |
|-----------|---------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------|------------|
| DFR0300 | 5V | 1 - 20ms/ cm | 5 - 40 °C | ± 10% | \$ 353.459 |
| DFR0300-H | 3-5V | 10 - 100ms/ cm | 0 - 40 °C | ± 5% | \$ 428.400 |

En el mercado no existen gran variedad en cuanto sensores analógicos de conductividad para ser usados en líquidos. En la tabla 2-5 se comparan dos referencias de sensores. En este caso se seleccionó el sensor DFR0300 el cual cuenta con una precisión de $\pm 10\%$ y tiene un costo considerablemente menor, adicionalmente el fabricante lo describe como un dispositivo ideal para aplicaciones de monitoreo de calidad del agua.

En la tabla 2-6 se comparan algunos sensores de temperatura disponibles en el mercado.

Tabla 2-6: Comparación sensores de temperatura. Fuente: Autor

| Sensor | Rango de medida | Precisión | Sumergible | Costo |
|---------|----------------------|-----------|------------|-----------|
| DS18B20 | -55 °C hasta +125 °C | ±0.5°C | si | \$ 10.948 |
| LM35 | -55 °C hasta +150 °C | ±1°C | no | \$ 6.188 |
| MTK-01 | -40 °C hasta +204 °C | ± 2.2 °C | no | \$ 14.875 |

Existe gran variedad en cuanto sensores de temperatura. Pero teniendo en cuenta las necesidades del proyecto la capacidad de sumergir el sensor en el agua fue determinante para la selección del dispositivo, en este caso el sensor DS18B20. Este también tiene la mejor precisión de los sensores comparados en la tabla 2-6 y cuenta con un rango de medición de -55°C hasta +125°C.

En la tabla 2-7 se comparan algunos sistemas embebidos usados en proyectos similares.

Tabla 2-7: Comparación sistemas embebidos. Fuente: Autor

| Sistemas embebidos | Memorias | Velocidad | Protocolos IoT | Costo |
|--------------------|--|-----------|----------------------------|------------|
| ESP32 T-CALL | FLASH: 4MB PSRAM: 8MB SRAM: 580KB | 240 MHz | GSM-2G, wifi, bluetooth | \$ 130.000 |
| ESP32 | FLASH: 16MB ROM: 448KB SRAM: 520KB | 240MHz | Wifi, bluetooth | \$ 35.000 |
| Raspberry Pi 3 | LPDDR2 SDRAM: 1GB | 1.4GHz | Wifi, bluetooth | \$ 225.000 |
| ESP8266 WeMos D1 | FLASH: 4MB | 160MHz | Wifi | \$ 22.000 |

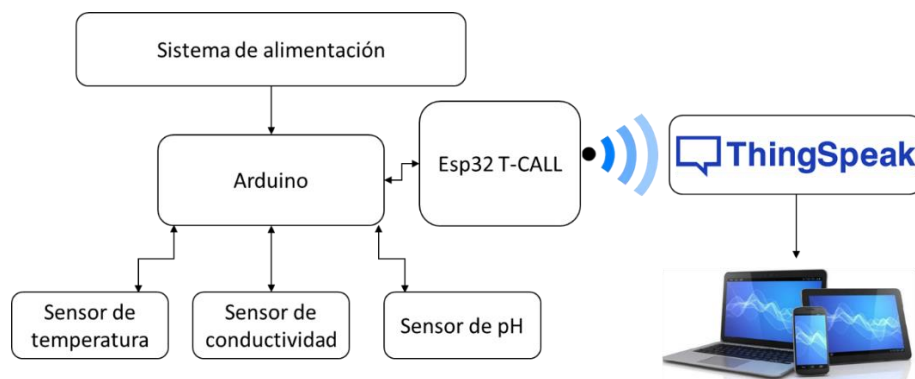
Ya que este se proyectó se desarrolla en una zona rural se optó por seleccionar la tarjeta ESP32 T-CALL la cual incluye el módulo módulo SIM800L GSM / GPRS el cual permite el envío de datos a través de la red GSM-2G. De esta forma se pueden enviar datos a distancias de varios kilómetros.

2.2.2 Descripción del prototipo

El componente central del sistema es el arduino ya que este regula el voltaje suministrado por las baterías y de esta forma alimenta los sensores empleando sus salidas de 5 y 3 voltios, también recibe los datos recolectados por los sensores y con el uso del puerto

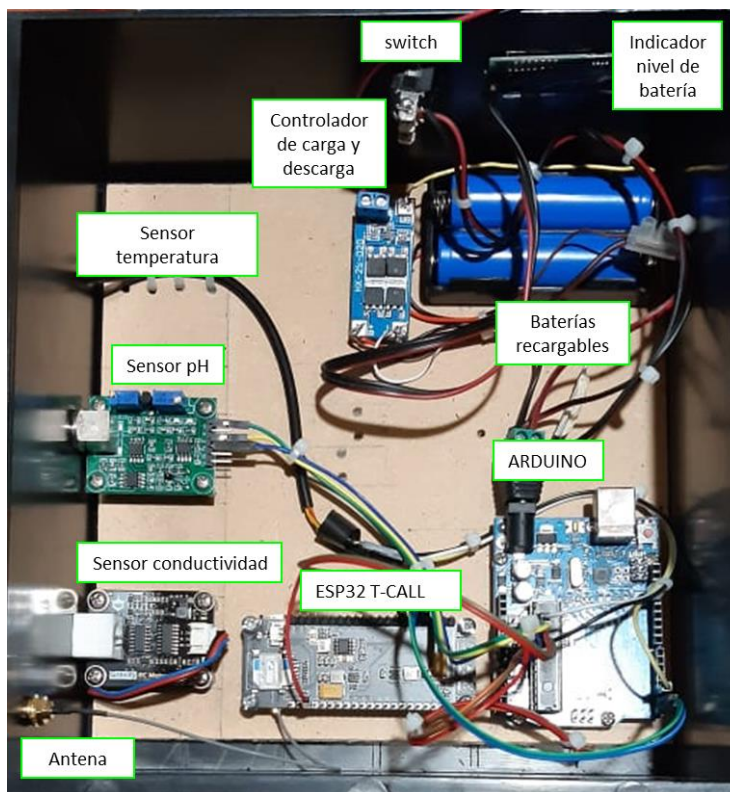
serial se trasmite dicha información a la ESP32 T-CALL la cual se encarga de procesar y llevar la información a la plataforma de thingspeak (ver figura 2-3). Una vez los datos se encuentran en el servidor de thingspeak el usuario puede acceder a ellos a través de cualquier dispositivo móvil que cuente con conexión a internet.

Figura 2-3: Diagrama de conexiones. Fuente: Autor



En la figura 2-4 podemos observar cómo se encuentran distribuidos los componentes del dispositivo. Una vez se verifique que se encuentran calibrados los sensores y que la tarjeta ESP32 T-CALL tenga una sim card con plan de datos basta con activar el switch que se encuentra ubicado a uno de los costados para poner en operación al dispositivo.

Figura 2-4: Conexión entre módulos . Fuente: Autor



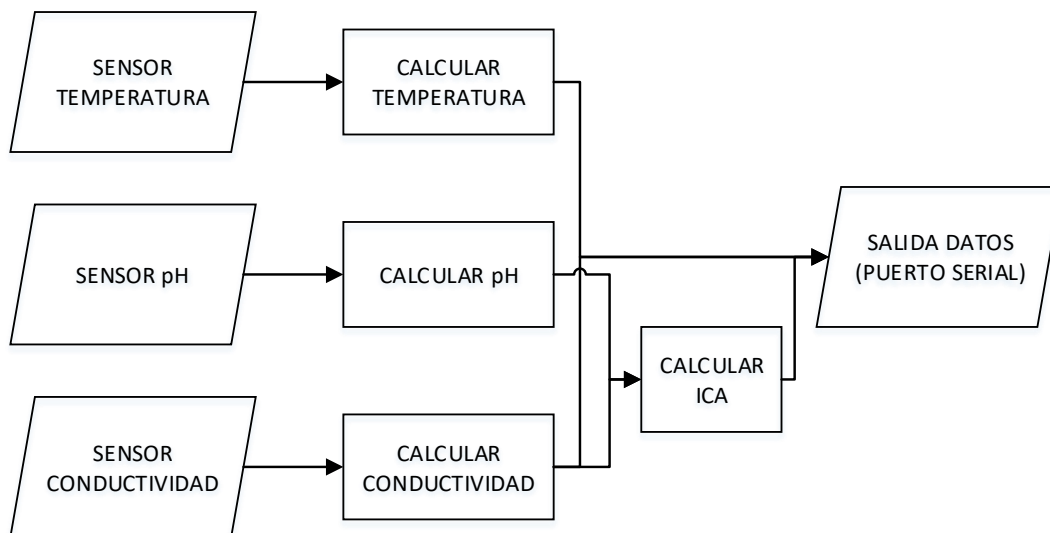
El dispositivo se encuentra ensamblado dentro de una caja plástica de 19.3 x 20.7 x 9.6 centímetros (ver figura 2-5). El equipo no se encuentra diseñado para ser usado en la intemperie. Si se desea realizar una implementación real del proyecto se recomienda que este pueda ser usado a la intemperie para que pueda operar de una forma más autónoma.

Figura 2-5: Tamaño del prototipo. Fuente: (*Caja Plástica Para Proyectos 19.3 x 20.7 x 9.6 Cm REF11*, n.d.)



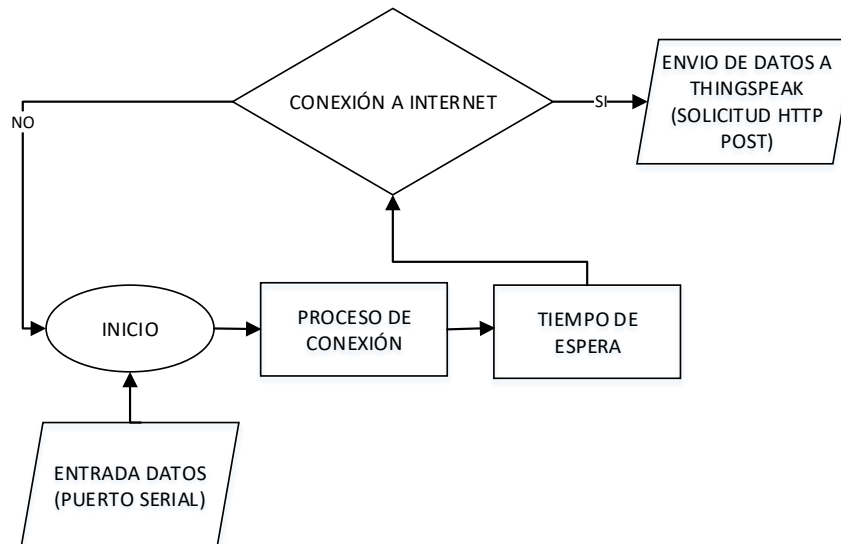
La programación del arduino consta de tres entradas correspondientes a cada sensor. Posteriormente se calcula el dato de cada variable incluido el ICA el cual se obtiene con los datos de pH y conductividad. Finalmente obtenemos cuatro datos de salida los cuales se transmiten a través del puerto serial a la ESP32 T-CALL (ver figura 2-6).

Figura 2-6: Programación arduino . Fuente: Autor



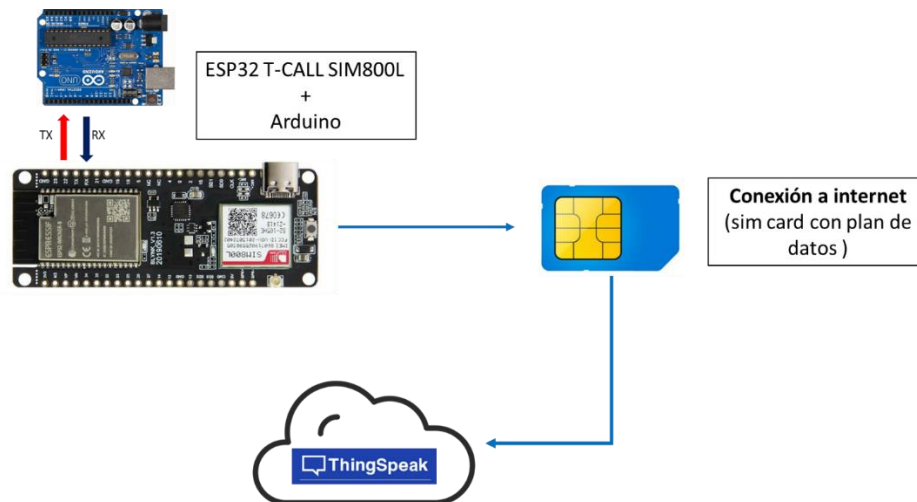
La tarjeta ESP32 T-CALL recibe cuatro datos provenientes del arduino a través del puerto serial. Mientras tanto se realiza el proceso de conexión a internet donde se considera un tiempo de espera mientras se logra establecer la conexión. Los datos solo se envían por medio de solicitud http post hasta que se logre establecer conexión a internet (ver figura 2-7).

Figura 2-7: Programación ESP32 T-CALL . Fuente: Autor



Es necesario que la sim card cuente con un plan de datos para que sea posible establecer conexión a internet y enviar los datos al servidor de thingspeak. En la programación de la tarjeta se deben usar el número del canal (channel ID) y la clave de escritura (Write API Key) que son los que me permiten almacenar los datos en el canal específico de thingspeak. (ver figura 2-8).

Figura 2-8: Envío de datos a thingspeak. Fuente: Autor



2.2.3 Visualización

Thingspeak ofrece la opción de almacenar diferentes tipos de datos cada uno ubicado en un campo propio. Para definir el canal basta con crear el número de entradas teniendo en cuenta que solo permite máximo ocho entradas. En este caso creamos cuatro entradas dentro del canal: temperatura, pH, conductividad e índice de calidad del agua (ICA) (ver figura 2-9).

Figura 2-9: Configuración del canal. Fuente: Autor

ThingSpeak™ Channels Apps Devices Support

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Da

Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID 1437951

Name Monitoreo - Fuente hídrica

Description Recolección de datos: temperatura, pH, conductividad e índice de calidad del agua (ICA)

| | | |
|---------|---------------|-------------------------------------|
| Field 1 | Temperatura | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Field 2 | pH | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Field 3 | Conductividad | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Field 4 | ICA | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Field 5 | | <input type="checkbox"/> |

Una vez completada la configuración del canal y guardado los cambios, es menester tener en cuenta el número del canal (channel ID) y la clave de escritura (Write API Key). Ya que son los datos que necesitamos para establecer conexión entre la tarjeta ESP32 T-CALL y la plataforma de thingspeak (ver figura 2-10).

Figura 2-10: Datos necesarios para establecer conexión. Fuente: Autor

Monitoreo - Fuente hídrica

Channel ID: **1437951**

Author: mwa0000019168578

Access: Private

Recolección de datos: tem
conductividad e índice de

Private View

Public View

Channel Settings

Sharing

API Keys

Write API Key

Key

0L2A5BZ47WZO61KB

Generate New Write API Key

2.2.4 Calibración sensor de Ph

Para este sensor se recomienda el uso de una alimentación constante de 5V para obtener una mayor precisión en la lectura de pH. La calibración del sensor se hizo empleando soluciones en polvo para la calibración de pH (ver figura 2-11). Estas son precisas, fáciles de usar pues solo deben disolverse en agua destilada. Además, son ampliamente utilizadas para la calibración de dispositivos similares.

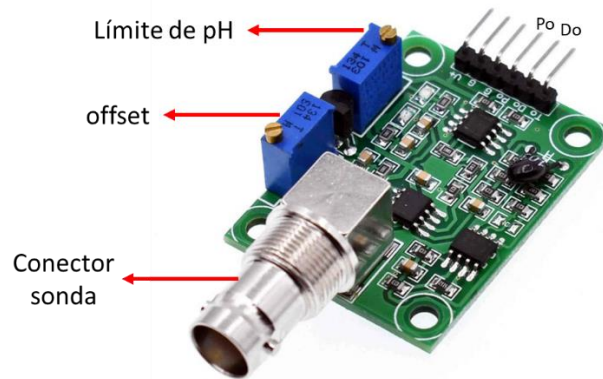
Figura 2-11: Soluciones de calibración de pH. Fuente: (Amazon.Com: Paquete de 15 Soluciones de Calibración de Búfer de PH En Polvo 4.00/6.86/9.18 Para Calibrar Con Precisión El Medidor de PH, Fácil y Preciso Paquetes de Polvo de Calibración Del Probador de PH : Industrial y Científico, n.d.)



Como podemos observar en la figura 2-12 la placa de adquisición contiene dos potenciómetros los cuales regulan el offset y el límite de Ph.

- **Offset:** El rango de medición de la sonda oscila entre valores positivos y negativos por lo que esta tarjeta se encarga de añadir un valor de offset al valor medido por la sonda, de esta forma el arduino solo tomara muestras de valores positivos de tensión, podemos ajustar el potenciómetro para obtener una salida de voltaje respecto a la medición del pH.
- **Límite de pH:** Este potenciómetro se utiliza para establecer un valor límite en el cual la tarjeta encenderá un led de color rojo y dará un valor digital en el pin Do.

Figura 2-12: La placa de adquisición de señales. Fuente: Autor



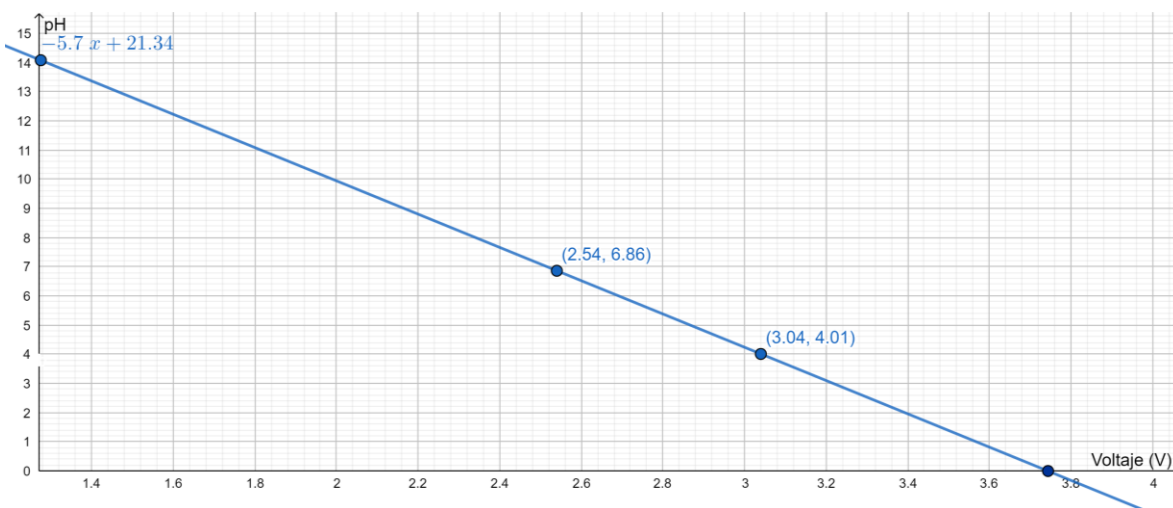
Para calibrar el sensor es necesario calcular la conversión de voltaje que nos da el sensor para las medidas de pH. Aquí utilizamos dos valores de referencia empleando las soluciones de calibración (ver figura 2-13) y los valores de voltaje entregados por el pin Po.

Figura 2-13: Soluciones de calibración de pH preparadas. Fuente: Autor



Como se expone en la figura 2-6 se utilizaron soluciones de pH de 4.01 y 6.86 obteniendo voltajes en el pin Po de 3,04 y 2,54 respectivamente. Como el sensor es lineal podemos obtener la ecuación para convertir el voltaje medido a pH utilizando la formula general $y=mx+b$ y los dos puntos obtenidos anteriormente como se expone en la figura 2-14.

Figura 2-14: Calibración sensor de pH. Fuente: Autor



2.2.5 Calibración sensor de conductividad

Para garantizar precisión en las medidas de conductividad se recomienda utilizar un sensor de temperatura para lograr una compensación automática. Antes de medir un líquido diferente se recomienda enjuagar la sonda con agua destilada y absorber las gotas residuales con papel. Todo esto con el fin de evitar la contaminación del líquido.

Es recomendado calibrar el sensor para su primer uso y después de un periodo prolongado de no usarse el sensor es lineal y su calibración se puede hacer mediante dos puntos por lo que se emplean soluciones estándar de conductividad de 1413 μ S/cm y 12,88mS/cm. Estas soluciones vienen incluidas con el dispositivo y no requieren de ninguna preparación (ver figura 2-15).

Figura 2-15: Soluciones estándar de conductividad. Fuente: (Amazon.Com: Gravedad: Sensor de Conductividad Eléctrica Analógico/Medidor V2 (K=1) : Industrial y Científico, n.d.)



La calibración de este dispositivo es bastante sencilla pues el fabricante proporciona una guía en su página web, la cual proporciona el paso a paso a seguir para el uso y calibración del sensor además de un código que puede cargarse en la placa de arduino. Una vez cargado el código y conectados los sensores de conductividad y temperatura se debe insertar la sonda ya lavada con agua destilada y secada con papel a la solución estándar de 1413 μ s/cm. Con el uso de comandos enviados por el monitor serial se le ordena al programa ingresar al modo calibración donde este identifica de forma automática la solución estándar que se está midiendo. Luego se debe salir del modo calibración para que se guarden los datos. Finalmente se repiten los pasos anteriores, pero ahora con la solución estándar de 12,88 ms/cm. Una vez realizados todos los pasos anteriores ya se encuentra calibrado el dispositivo y ya puede usarse para la medición real. Los parámetros de calibración quedan guardados en la EEPROM de la placa de control en este caso el arduino(*Gravity_Analog_Electrical_Conductivity_Sensor_Meter_V2_K=1_SKU_DF R0300-DFRobot*, n.d.).

2.2.6 Lugar de implementación

El lugar en el cual se llevó a cabo el monitoreo se encuentra ubicado en Santa Rosa De Viterbo, Boyacá en el sector de quebrada grande aproximadamente a una latitud 5°53'04.1"N y longitud 72°59'55.6"W. En la figura 2-16 podemos observar una imagen satelital del sitio mencionado.

Figura 2-16: Lugar de implementación. Fuente: (Google Earth, n.d.)



Una vez en el lugar de implementación se instaló y puso en marcha el dispositivo en un punto de la quebrada de fácil acceso el cual contaba en ese momento con 3 metros en donde circulaba el agua y 20 centímetros de profundidad aproximadamente (ver figura 2-17).

Figura 2-17: Instalación del dispositivo. Fuente: Autor





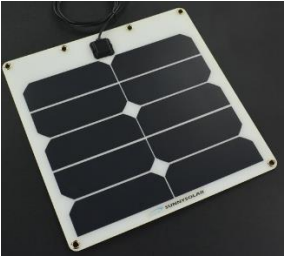
2.3 Implementación un sistema de alimentación para el prototipo usando energía fotovoltaica, baterías y paneles solares

En este apartado se aborda la sección 2.3.1 donde se realiza la selección de componentes que conforman el sistema de alimentación y la sección 2.3.2 donde se da una descripción general del sistema de alimentación del prototipo.

2.3.1 Selección de componentes

En esta fase se realizará la comparación de algunos componentes disponibles en el mercado con el fin de seleccionar los que más se adecuen al presupuesto y requerimientos del sistema de alimentación. En la tabla 2-8 se comparan algunos paneles solares disponibles en el mercado.

Tabla 2-8: Comparación paneles solares. Fuente: Autor

| Panel | Voltaje | Corriente | Potencia | Dimensiones | Costo |
|---|---------|-----------|----------|-------------|------------|
|  | 12V | 416mA | 5W | 16x21 cm | \$ 55.692 |
|  | 12V | 1,6A | 20W | 30x53 cm | \$ 130.000 |
|  | 5V | 2A | 10W | 28x28 cm | \$ 357.000 |

En el mercado se encuentran paneles solares monocristalinos y policristalinos, se optó por seleccionar un panel de 12V 5W policristalino ya que, aunque es menos eficiente, también es mucho más económico que un panel monocristalino. Por otro lado, sus características técnicas se ajustan a las necesidades del proyecto. Logrando entregar la potencia suficiente para alimentar a los componentes del sistema.

En la tabla 2-9 se comparan algunas baterías usadas en aplicaciones similares.

Tabla 2-9: Comparación baterías. Fuente: Autor

| Bateria | Tipo | Voltaje | Corriente | Costo |
|---|--------------------|---------|-----------|-----------|
|  | Polimero de litio | 3,7V | 800mAh | \$ 21.000 |
|  | 21700 ion de litio | 3,7V | 4000mAh | \$ 49.950 |
|  | 18650 ion de litio | 3,7V | 2200mAh | \$ 25.000 |

se seleccionaron dos baterías recargables 18650 de 3,7V 2200mA, Estas baterías se encuentran conectadas en serie para dar un voltaje de 7,4V. Se tiene una autonomía de 11 horas aproximadamente como se calcula en la fórmula (2.4), teniendo en cuenta el consumo de energía que se muestra en la tabla 2-10.

Tabla 2-10: Consumo de energía aproximado de los dispositivos empleados. Fuente: Autor

| Dispositivo | Corriente (mA) |
|---------------------------|----------------|
| ESP32 T-CALL | 70 |
| Arduino | 100 |
| Sensor de temperatura | 5 |
| Sensor de pH | 10 |
| Sensor de conductividad | 10 |
| Modulo indicador de carga | 5 |
| Total | 200 |

$$Horas _ Autonomia = \frac{capacidad _ bateria(mAh)}{corriente _ consumida(mA)} \quad (2.4)$$

$$Horas _ Autonomia = \frac{2200mAh}{200mA} = 11h$$

En la tabla 2-11 se comparan algunos módulos de carga y descarga existentes en el mercado.


Tabla 2-11: Comparación módulos carga y descarga de baterías. Fuente: Autor

| Modulo de carga y descarga | Numero de baterias | Voltaje de entrada | Corriente | Protecion contra cortocircuitos | Costo |
|----------------------------|--------------------|--------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| TP4056 | 1 | 5V | 1A | No | \$ 4.000 |
| HX-4S-A01 | 4 | 16,8-17V | 12A | Si | \$ 15.000 |
| HX-2S-D20 | 2 | 8,4-9V | 10A | Si | \$ 8.000 |

Como se optó por el uso de dos baterías, el módulo HX-2S-D20 es adecuado para esta aplicación, es necesario incluir este dispositivo pues ayuda a alargar la vida útil de las baterías, demás brinda protección contra cortocircuitos.

Como el panel solar entrega un voltaje de 12V se añadió un reductor de voltaje XL4005 (ver figura 2-18) al sistema con el fin de acoplarlo al módulo de carga y descarga que cuenta con un voltaje de entrada de 8,4 a 9V.

Figura 2-18: XL4005 Regulador Step Down. Fuente: Autor

| | |
|---|--|
|  | Voltaje de entrada: 5.0 a 32 Volts DC |
| | Voltaje de salida: 0.8 a 30 Volts DC |
| | Corriente de salida: 5 A máx. |
| | Potencia de salida: 50 W |
| | Eficiencia de conversión: 96% máx. |
| | Frecuencia de Trabajo: 300KHz |
| | Sobre-temperatura-Protección: Si |
| | Corto circuito – Protección: Si |
| | Protección limitadora de corriente: Si |
| | Temperatura de Funcionamiento: -45°C a +85°C |

En la tabla 2-12 se expone la radiación global horizontal del año 2015. Los datos se obtuvieron de la base de datos PVGIS-NSRDB (PVGIS European Commission, 2015)

Tabla 2-12: Irradiación global horizontal Santa Rosa De Viterbo. Fuente: Autor

| Irradiación global horizontal año 2015 | |
|--|--------------------------------|
| Mes | Irradiacion KWh/m ² |
| Enero | 186,13 |
| Febrero | 156,36 |
| Marzo | 173,92 |
| Abril | 150,24 |
| Mayo | 165,7 |
| Junio | 142,35 |
| Julio | 155,35 |
| Agosto | 141,84 |
| Septiembre | 155,22 |
| Octubre | 158,38 |
| Noviembre | 137,55 |
| Diciembre | 177,38 |

Conociendo los datos de la irradiación en este caso del mes de febrero y dimensiones del panel solar podemos calcular la eficiencia del panel solar (ecuación 2.5) (*Rendimiento de Placas Solares - Dimensiones, Potencias y Eficiencia*, n.d.).

$$irradiancia_febrero = (156,36 / 28) * 1000 = 5580$$

$$superficie = 0,165m * 0,210m = 0,034m^2$$

$$\% E = \left(\frac{potencia_panel(W)}{irradiancia(W / m^2 / dia) * superficie(m^2)} \right) * 100 \quad (2.5)$$

$$\% E = \left(\frac{5}{5580 * 0,034} \right) * 100$$

$$\% E = 2,63\%$$

Calculando la eficiencia sin tener en cuenta la irradiación (ecuación 2.6) tenemos un resultado de 20% por lo que el panel solar es eficiente en relación superficie potencia, pero muy poco eficiente para aprovechar el potencial solar de la zona (*¿Cómo Calcular La Eficiencia de Un Panel Fotovoltaico? - Ilumin | Cursos de Energía Solar, n.d.*).

$$\begin{aligned} \text{superficie} &= 0,165m * 0,210m = 0,034m^2 \\ \% E &= \left(\frac{\text{potencia}_{\text{maxima}}(W)}{\text{superficie}(m^2) * 10} \right) \\ \% E &= \left(\frac{6.8}{0,034 * 10} \right) \quad (2.6) \\ \% E &= 20\% \end{aligned}$$

2.3.2 Descripción del sistema

La alimentación del dispositivo consta de un sistema que obtiene la energía proveniente del sol por medio de un panel solar, el voltaje se regula con un reductor de voltaje para que se encuentre en el rango establecido por el módulo de carga y descarga, dicho modulo controla la entrada y salida de energía de las baterías, por lo que el arduino se encuentra conectado a este para finalmente distribuir la energía a los demás componentes del prototipo. También se añadió un indicador de nivel de las baterías para permitir que el usuario conozca el nivel de carga en el que se encuentra el dispositivo (ver figura 2-19 y 2-20).

Figura 2-19: Diagrama sistema de alimentación. Fuente: Autor

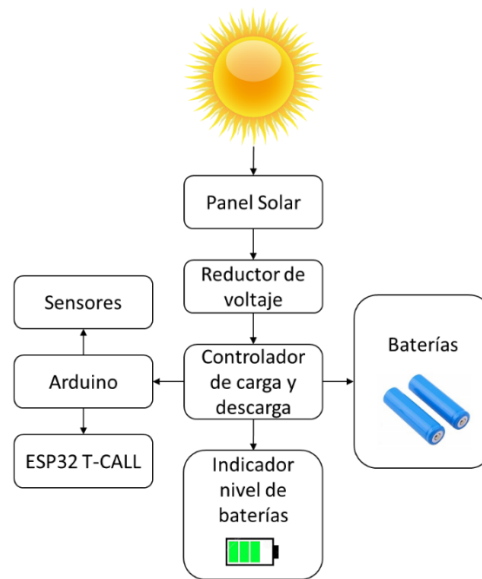
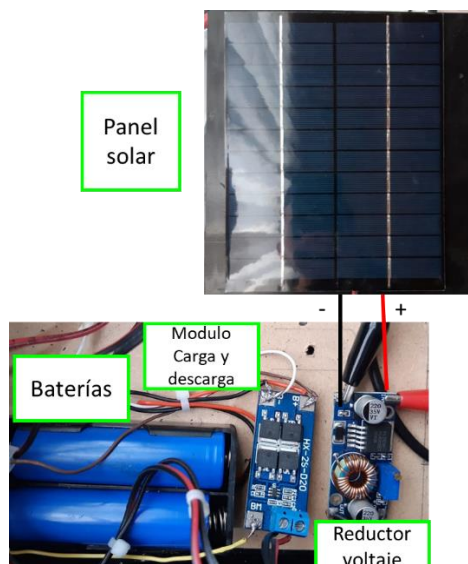


Figura 2-20: Sistema de alimentación. Fuente: Autor



2.4 Evaluación del desempeño del prototipo midiendo sus características eléctricas y sus variables de telecomunicaciones

En esta fase se abordan las secciones 2.4.1 donde se habla de la toma de muestras de voltaje y corriente del panel solar en el transcurso de un día, 2.4.2 donde se describe las medidas de voltaje y corriente de los componentes que conforman al prototipo y 2.4.3 donde se da a conocer el proceso de medición de las variables de telecomunicaciones en la tarjeta ESP32 T-CALL

2.4.1 Desempeño panel solar

Para monitorear el comportamiento del panel solar se añadió el sensor de voltaje FZ0430 (figura 2-21) y el sensor de corriente ACS712 (figura 2-22). Estos sensores son fáciles de usar, son muy precisos y entregan valores analógicos correspondientes a las medidas además no es necesario calibrarlos. Los valores entregados por los sensores se enviaron a la plataforma de thingspeak para analizar su comportamiento en el transcurso de un día.

Figura 2-21: Sensor de voltaje FZ0430. Fuente: Autor



| | |
|---|--|
|  | Rango de alimentación : 3.3V ~ 5V |
| | Salida Análoga |
| | Rango de Voltaje a medir: 0.02445V ~ 25V |
| | Resolución: 0.00489V |


Figura 2-22: Sensor de corriente ACS712. Fuente: Autor

| | |
|---|--|
|  | Voltaje de Operación DC: 5V |
| | Sensibilidad: 185mV / A |
| | Voltaje de Salida: 1.5V ~ 3.5V (-5A ~ 5A) |
| | Error Total Salida: 1.5% a Temperatura Ambiente 25°C |

2.4.2 Consumo del dispositivo

Para medir el consumo de cada uno de los componentes se usó el multímetro digital UT33C+ este me permite medir corriente y voltaje con una gran exactitud (ver figura 2-23).

Figura 2-23: Multímetro digital UT33C+. Fuente: Autor

| | |
|--|--|
|  | Voltaje de CC (V): 200 mV ~ 600 V Exactitud :± (0.5% + 3) |
| | Corriente continua (A): 200 μA ~ 10 A Exactitud: ± (1.0% + 3) |
| | Resistencia (Ω): 200 Ω ~ 20 MΩ Exactitud: ± (0.8% + 2) |

2.4.3 Variables de telecomunicaciones

Las variables de telecomunicaciones que se midieron son: Intensidad de la señal recibida (RSSI), Timing advance y calidad de recepción. Para realizar este proceso se emplean comandos AT los cuales me permiten interactuar con el módulo sim800L de la ESP32 T-CALL. Dichos comandos los podemos encontrar en el manual de comandos del módulo sim800 (SIMCom, 2015).

Las variables RSSI y calidad de recepción se pueden medir al ejecutar el comando AT+CSQ esta acción nos da como resultado 2 valores decimales correspondientes a las dos variables, en la tabla 2-13 se muestra el valor en dBm y el estado de la intensidad de la señal recibida. En la tabla 2-14 podemos ver la tasa de error de bits (BER) correspondiente a la calidad de recepción.

Tabla 2-13: RSSI. Fuente: (AT+CSQ 与 DBm 的那些事 – Hacper's Blog, n.d.)

| Valor | RSSI(dBm) | Estado |
|-------|------------|-----------|
| 2 | -109 | Marginal |
| 3 | -107 | Marginal |
| 4 | -105 | Marginal |
| 5 | -103 | Marginal |
| 6 | -101 | Marginal |
| 7 | -99 | Marginal |
| 8 | -97 | Marginal |
| 9 | -95 | Marginal |
| 10 | -93 | OK |
| 11 | -91 | OK |
| 12 | -89 | OK |
| 13 | -87 | OK |
| 14 | -85 | OK |
| 15 | -83 | Bueno |
| 16 | -81 | Bueno |
| 17 | -79 | Bueno |
| 18 | -77 | Bueno |
| 19 | -75 | Bueno |
| 20 | -73 | Excelente |
| 21 | -71 | Excelente |
| 22 | -69 | Excelente |
| 23 | -67 | Excelente |
| 24 | -65 | Excelente |
| 25 | -63 | Excelente |
| 26 | -61 | Excelente |
| 27 | -59 | Excelente |
| 28 | -57 | Excelente |
| 29 | -55 | Excelente |
| 30 | -53 | Excelente |

Tabla 2-14: Calidad de recepción. Fuente: (AT+CSQ - AT Command to Get the Signal Quality Report in GSM Engine « Funny Electronics, n.d.)

| Calidad de recepción | Bit error rate (BER) |
|----------------------|----------------------|
| 0 | BER < 0.2% |
| 1 | 0.2% < BER < 0.4% |
| 2 | 0.4% < BER < 0.8% |
| 3 | 0.8% < BER < 1.6% |
| 4 | 1.6% < BER < 3.2% |
| 5 | 3.2% < BER < 6.4% |
| 6 | 6.4% < BER < 12.8% |
| 7 | 12.8% < BER |

Para obtener el valor del timing advance se debe activar el modo ingeniero con el comando AT+CENG. De esta forma obtendremos información detallada de la red, entre esos datos se encuentra el timing advance (TA) en un valor de 6 bits que va de 0 a 63. Donde cada unidad corresponde a un cambio en la distancia de 553,5 metros y un retardo de 3,69 μ segundos (ver tabla 2-15) (*Cellular Repeater Antennas, LTE and Timing Advance*, n.d.).

Tabla 2-15: Timing advance. Fuente: Autor

| TA | Retardo (μ s) | Distancia (m) |
|-----|--------------------|---------------|
| 0 | 3,69 | 553,5 |
| 1 | 7,38 | 1107 |
| 2 | 11,07 | 1660,5 |
| 3 | 14,76 | 2214 |
| 4 | 18,45 | 2767,5 |
| 5 | 22,14 | 3321 |
| 6 | 25,83 | 3874,5 |
| 7 | 29,52 | 4428 |
| 8 | 33,21 | 4981,5 |
| 9 | 36,9 | 5535 |
| 10 | 40,59 | 6088,5 |
| ... | ... | ... |
| 61 | 228,78 | 34317 |
| 62 | 232,47 | 34870,5 |
| 63 | 236,16 | 35424 |

2.5 Evaluación del desempeño del prototipo comparando sus mediciones de calidad del agua contra un dispositivo comercial

En este apartado se describen las secciones 2.5.1 donde se comparan las características técnicas de los dispositivos usados, 2.5.2 en la cual se expone la calibración del dispositivo comercial para la medición del pH y finalmente la sección 2.5.3 muestra la toma de mediciones de pH usando el sensor analógico y el dispositivo comercial.

2.5.1 Características técnicas

Para evaluar el desempeño del prototipo se realizó una comparación entre el sensor de pH E-201 y el medidor de pH comercial pH-009(I)A (ver figura 2-24).

Figura 2-24: Características técnicas medidores de pH. Fuente: Autor

| | |
|---|---------------------------------------|
| E201-BNC | |
|  | Alimentación: 5V DC |
| | Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$ |
| | Temperatura de funcionamiento: 0-80°C |
| pH-009(I)A | |
|  | Alimentación: 3x1.5V(AG-13) |
| | Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$ |
| | Temperatura de funcionamiento: 0-50°C |

Estos dos dispositivos cuentan con una precisión de $\pm 0.1\text{pH}$, el sensor E201-BNC cuenta con un mayor rango de temperatura de operación. La calibración de estos dos dispositivos se realiza con soluciones estándar de pH. El medidor pH-009(I)A incluye las soluciones para calibrarlo.

2.5.2 Calibración dispositivo comercial

Para calibrar el dispositivo pH-009(I)A se emplean las mismas soluciones estándar para calibración mencionadas en el proceso de calibración del sensor E201-BNC, para cambiar el valor de pH se ajusta un trimmer ubicado en la parte trasera del dispositivo.

Figura 2-25: Ajuste pH dispositivo pH-009(I)A. Fuente: Autor



Se realizó el ajuste con el dispositivo sumergido en soluciones de pH de 9.18 y 6.86 (ver figura 2-25 y 2-26) de esta forma queda calibrado el dispositivo y listo para su uso.

Figura 2-26: Calibración dispositivo pH-009(I)A. Fuente: Autor



2.5.3 Toma de mediciones

Para tomar mediciones de pH con los dos dispositivos se prepararon dos soluciones de pH y se sumergieron ambos dispositivos en cada recipiente (figura 2-27).

Figura 2-27: Comparación medidas de pH. Fuente: Autor



3. Resultados

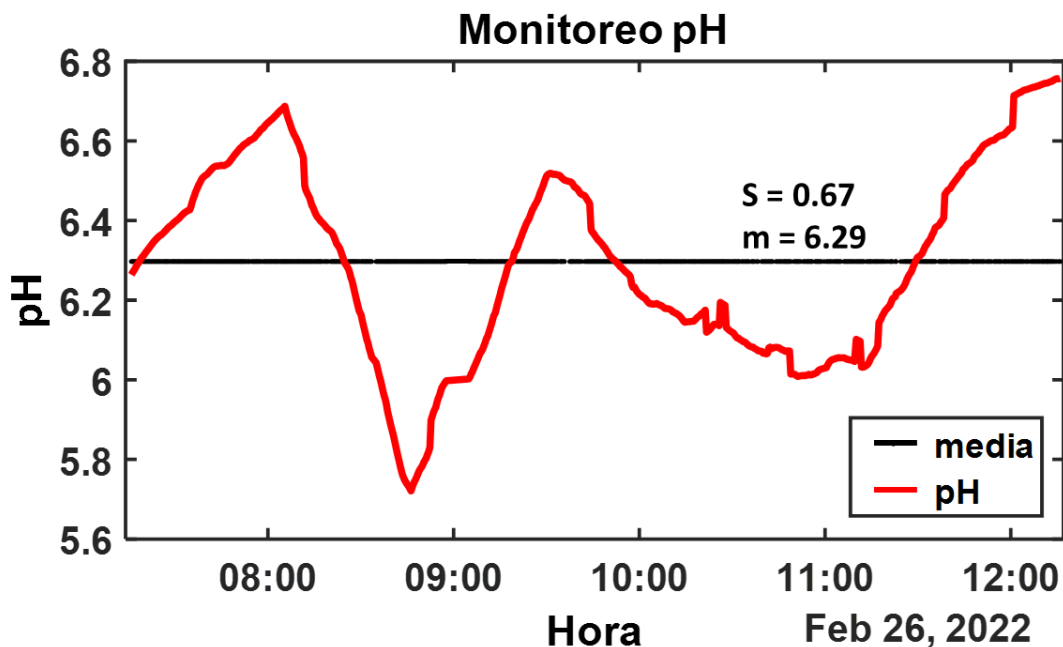
En esta sección se exponen y analizan los resultados obtenidos a partir del desarrollo, implementación y evaluación del dispositivo.

3.1 Calidad del agua

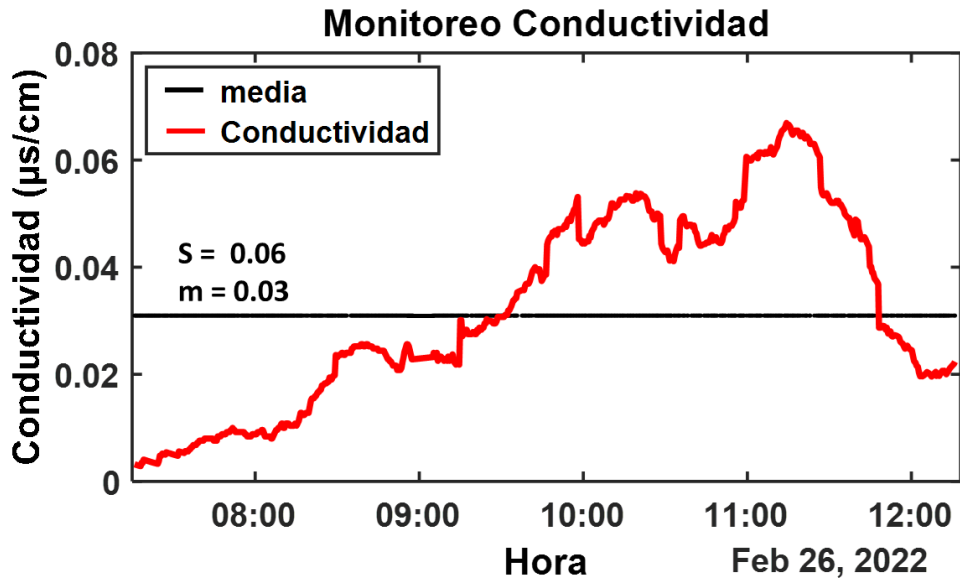
Se realizó un monitoreo constante durante 5 horas obteniendo 680 lecturas de los valores de pH, conductividad, temperatura e índice de calidad del agua (ICA). Para facilitar la visualización y análisis de los datos se utilizó el software Matlab el cual también permite importar datos de la plataforma de thingspeak.

En la figura 3-1 se expone la variación del pH en el transcurso del tiempo donde podemos observar una variación constante, donde todos los valores se encuentran por debajo de 7 lo que supone una disminución del ICA.

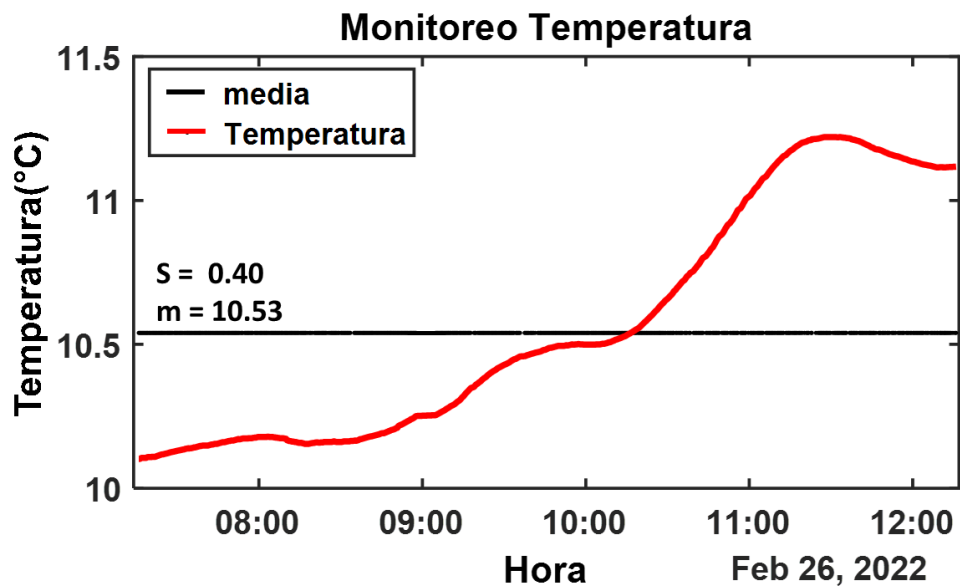
Figura 3-1: Resultados monitoreo de pH. Fuente: Autor



En la figura 3-2 se muestran los valores de conductividad obtenidos durante el monitoreo donde podemos ver que los valores son muy cercanos a cero lo que indica una muy buena señal en la calidad del líquido dando a entender una baja concentración de iones en el líquido y un aumento considerable en el ICA.

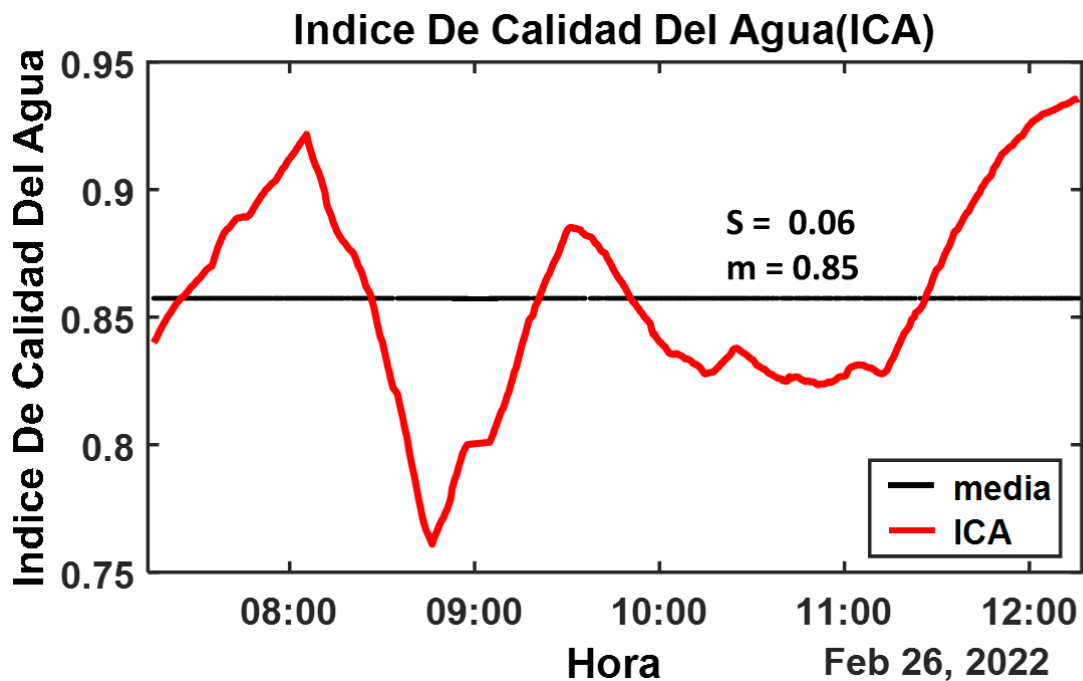
Figura 3-2: Resultados monitoreo de conductividad. Fuente: Autor

En la figura 3-3 podemos observar la variación de la temperatura en el transcurso de las 7 de la mañana hasta el mediodía. La temperatura no se tuvo en cuenta para el cálculo del ICA por lo que no es relevante en la evaluación de la calidad de la quebrada.

Figura 3-3: Resultados monitoreo de temperatura. Fuente: Autor

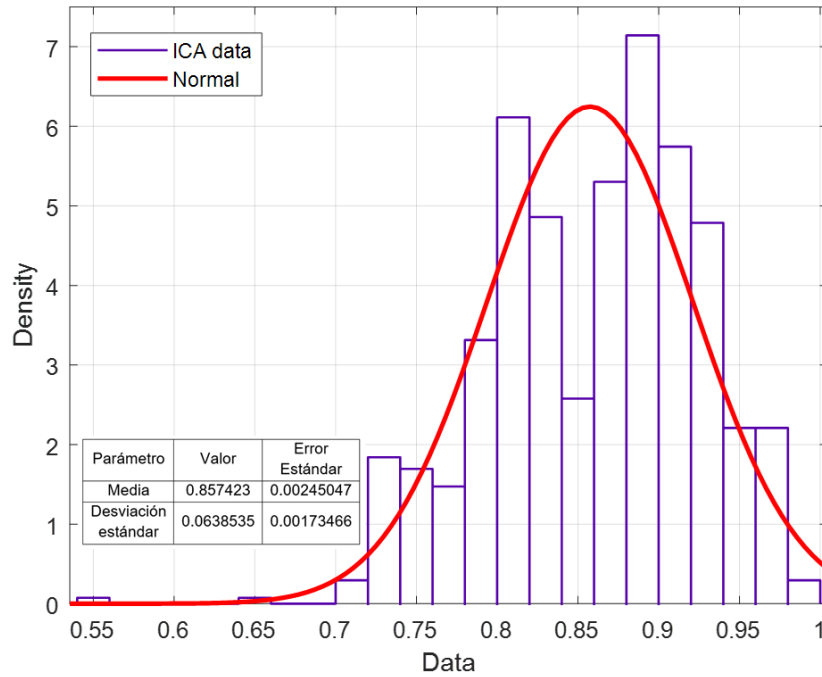
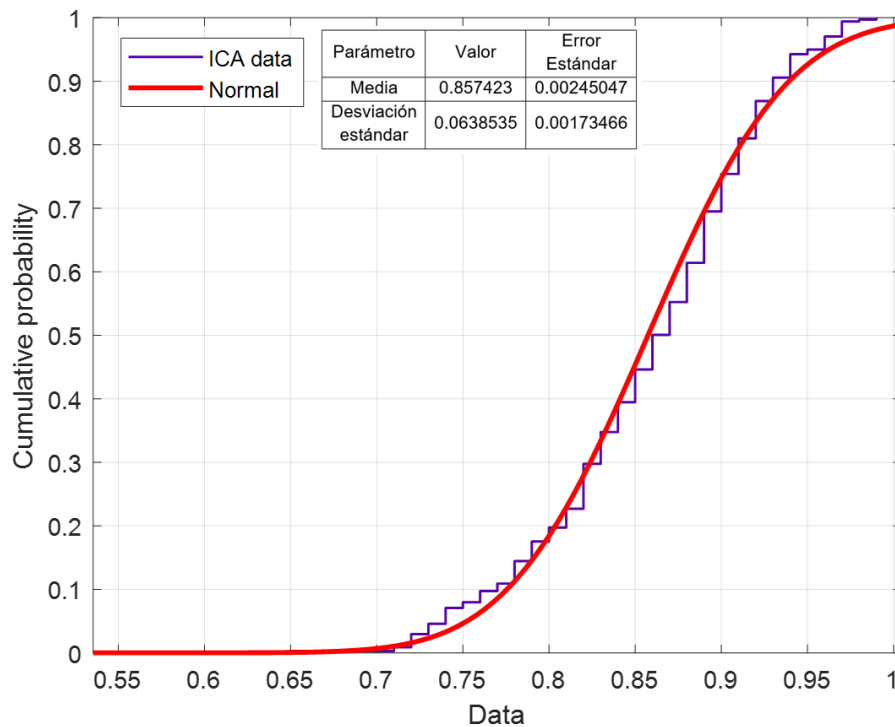
En la figura 3-4 se expone la variación del ICA en el transcurso del tiempo donde obtenemos un valor promedio de 0.85 otorgando una calificación aceptable a la calidad del agua, así como una señal de alerta verde (ver tabla 2-3).

Figura 3-4: Resultados del índice de calidad del agua en la quebrada. Fuente: Autor



Empleando una distribución normal en los datos del índice de calidad del agua (ICA) (ver figuras 3-5 y 3-6) podemos ver que los datos se ajustan bien a esta distribución de probabilidad.

Al aplicar la prueba de Anderson-Darling en Matlab se obtuvo un valor de 1 dando a entender que la prueba rechaza la hipótesis nula al nivel de significancia del 5%.

Figura 3-5: Densidad distribución normal. Fuente: Autor**Figura 3-6:** Probabilidad acumulativa distribución normal. Fuente: Autor

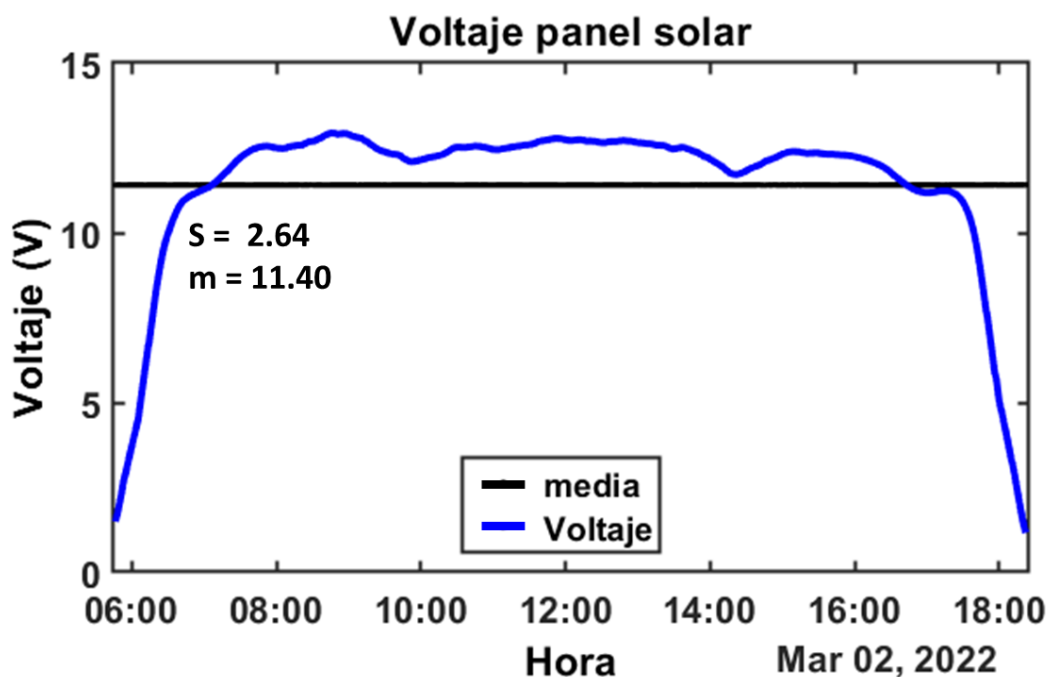
3.2 Características eléctricas

Se realizó un monitoreo constante durante 12 horas obteniendo 1970 lecturas de los valores de voltaje y corriente en el panel solar. Adicionalmente se midió el consumo de corriente de los componentes del dispositivo. Para facilitar la visualización y análisis de los datos se utilizó el software Matlab el cual también permite importar datos de la plataforma de thingspeak.

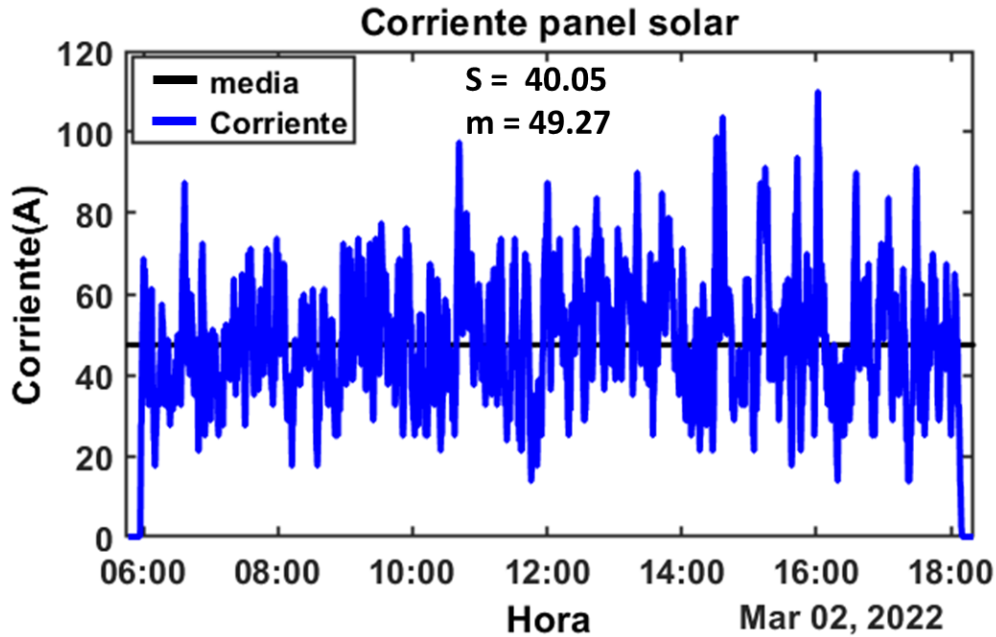
3.2.1 Panel Solar

En la figura 3-7 se expone la variación del voltaje en el transcurso del día, el voltaje inicia en cero y luego sube de forma constante cuando amanece, este se mantiene oscilando en valores superiores a 11 voltios hasta que empieza el anochecer donde empieza a descender hasta llegar a cero nuevamente. Este comportamiento se repetirá de forma periódica todos los días.

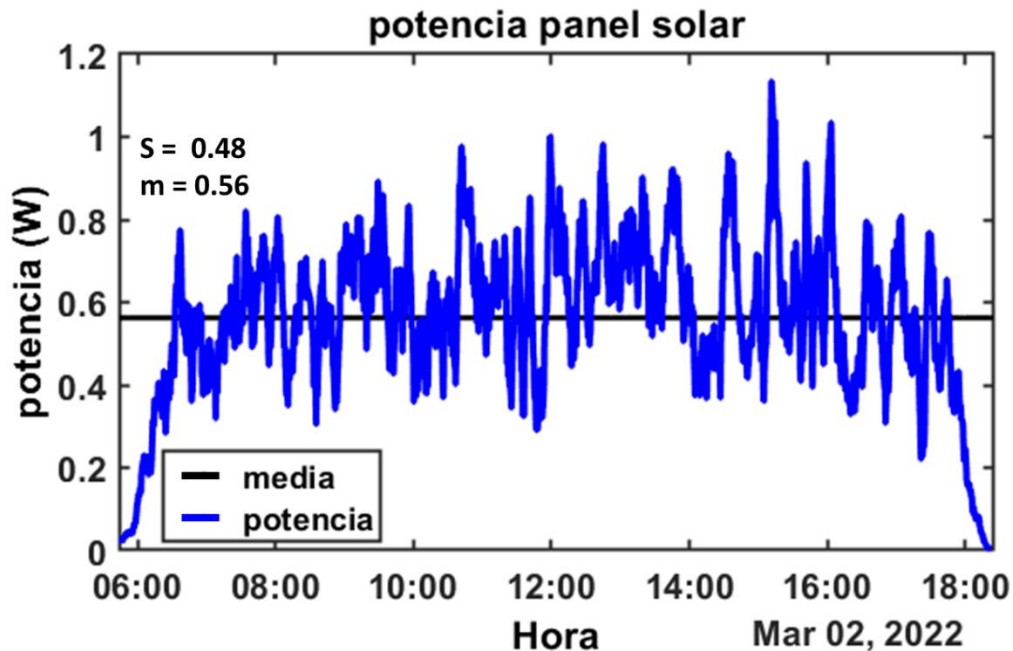
Figura 3-7: Variación del voltaje en el panel solar. Fuente: Autor



En la figura 3-8 se muestran los valores de corriente medidos entre el panel solar y el reductor de voltaje, estos valores cambian constantemente según consumo del dispositivo, cabe resaltar que se añadió un diodo para que la corriente corriera en un solo sentido y de esta forma no obtener valores negativos por consumo del panel.

Figura 3-8: Variación de corriente entre el panel y el reductor de voltaje. Fuente: Autor

En la figura 3-9 se muestran los valores de potencia obtenidos al multiplicar los datos de corriente y voltaje expuestos anteriormente. Para graficar los datos de corriente y voltaje se usó un promedio móvil con el fin de suavizar las gráficas por lo que cuando se calcula la potencia se obtienen valores bajos pues en estos cálculos se hace uso de datos cercanos a cero obtenidos en el monitoreo de corriente del panel.

Figura 3-9: Variación en la potencia del panel . Fuente: Autor

3.2.2 Prototipo

En la tabla 3-1 se expone el consumo de corriente de cada componente del prototipo, estas medidas se tomaron empleando el multímetro. Se obtuvieron valores diferentes a los que se esperaban cuando se consultó el consumo de corriente en las hojas de datos.

El consumo total es mayor al que se esperaba (ver tablas 3-1) por lo que las horas de autonomía de las baterías bajaron de 11 a 7,5 (figura 3-9).

Tabla 3-1: Consumo de corriente teórico vs real. Fuente: Autor

| Componente | Consumo teórico (mA) | Consumo real (mA) | % Error experimental |
|---------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| ESP32 T-CALL | 70 | 120 | 71,4 |
| Arduino | 100 | 150 | 50,0 |
| Sensor de temperatura | 5 | 0,05 | 99,0 |
| Sensor de pH | 10 | 8,5 | 15,0 |
| Sensor de conductividad | 10 | 6,8 | 32,0 |
| Modulo indicador de carga | 5 | 5 | 0,0 |
| Total | 200 | 290,35 | 45,2 |

$$Horas _ Autonomia = \frac{capacidad _ bateria(mAh)}{corriente _ consumida(mA)} \quad (3.1)$$

$$Horas _ Autonomia = \frac{2200mAh}{290,35mA} = 7,57h$$

En todo sistema fotovoltaico se presentan perdidas. Contando perdidas por regulación de tensión y sombra tenemos que el panel solar seleccionado es muy poco eficiente para esta operación. En la ecuación 2-5 tenemos una eficiencia de 2.63%, teniendo en cuenta las perdidas podemos afirmar que la eficiencia del panel será menor que este valor calculado anteriormente (*Rendimiento de Placas Solares - Dimensiones, Potencias y Eficiencia*, n.d.).

Con el fin de lograr un uso del dispositivo durante un día completo, se añadió un modo de ahorro energético en las tarjetas de arduino y ESP32 T-.CALL. obteniendo 13.8 horas de autonomía y enviando datos cada 10 minutos.

Tabla 3-2: Modo ahorro energía . Fuente: Autor

| Dispositivo | Consumo normal (mA) | Consumo con ahorro de energía (mA) | Porcentaje de ahorro % |
|--------------|---------------------|------------------------------------|------------------------|
| Arduino | 150 | 114,8 | 23,47 |
| ESP32 T-CALL | 120 | 24,18 | 79,85 |

$$\text{Horas}_{\text{Autonomia}} = \frac{2200mAh}{159,3mA} = 13,8h$$

3.3 Variables de telecomunicaciones

Empleando el software de arruino se ejecutaron los respectivos comandos AT en la ESP32 T-CALL para la medición del RSSI, calidad de recepción y timina avance del dispositivo.

En la tabla 3-2 podemos ver los comandos AT que brindan información de la red. Aquí se aprecia un excelente RSSI de -55dBm, así como una muy buena calidad de recepción con una tasa de error de bits menor a 0.2%. También se expone el comando AT que nos permite ingresar al modo ingeniero del módulo SIM800L, donde nos brinda información detallada de la red, entre esta información encontramos un timing avance de 4 lo cual nos da a entender que existe un retardo de 18,45 µsegundos y una distancia entre el dispositivo y la antena de 2767,5 metros aproximadamente.

Tabla 3-3: Información de la red empleando comandos AT . Fuente: Autor

| Comando AT | Respuesta | Interpretación |
|--------------------------|-----------|--|
| AT+CSQ | 29 | RSSI= -55dBm |
| | 0 | Tasa de error de bits (BER) <0.2% |
| AT+CENG (modo ingeniero) | (TA) = 04 | Retardo = 18,4 µs Distancia ant = 2767,5 mt |

3.4 Comparación con dispositivo comercial

Empleando la tarjeta arduino y su software, así como el sensor de pH E-201 y el dispositivo pH-009(I)A se comparó la medición del pH en líquidos preparados con solución de pH de 6.86 y 9.18.

En la tabla 3-3 podemos apreciar el comportamiento del sensor usado en este proyecto y el sensor comercial donde ambos entregan medidas de pH muy acertadas con porcentajes de error por debajo de cero.

Tabla 3-4: Sensor de pH utilizado en este proyecto vs dispositivo comercial. Fuente: Autor

| Solución de pH | Sensor prototipo (E201-BNC) | % error | dispositivo comercial(pH-009(I)A) | % error |
|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------------|---------|
| 6,86 | 6,8 | 0,87 | 6,8 | 0,87 |
| 9,18 | 9,12 | 0,65 | 9,2 | 0,22 |

4. Conclusiones

- Para la evaluación de la calidad en aguas superficiales es posible construir un índice de calidad del agua (ICA) a partir de las variables de pH y conductividad del agua. Siempre teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el IDEAM. Se recomienda medir otras variables importantes como oxígeno disuelto, turbiedad, TDS, entre otros.
- La selección de componentes es una parte fundamental a la hora de realizar un proyecto de este tipo. Pues en el mercado existen dispositivos demasiado costosos que aumentan considerablemente la inversión del proyecto. Se recomienda seleccionar dispositivos que se encuentren dentro de las exigencias del proyecto pero que su precio sea asequible.
- Teniendo en cuenta los resultados del monitoreo de la quebrada se puede concluir que esta se encuentra en buenas condiciones, se recomienda hacer monitoreo periódico y en distintos puntos de la quebrada para tener resultados más significativos en la evaluación de la calidad de la fuente hídrica.
- El consumo real de corriente puede llegar a ser muy diferente al mencionado en las páginas de compra por lo que se recomienda medir el consumo de los dispositivos una vez adquiridos para tener en cuenta en el cálculo de autonomía de las baterías. También se deben tener en cuenta las pérdidas que puede tener el panel solar.
- El uso de energía solar fotovoltaica es una excelente opción, sin embargo, se recomienda reducir el consumo de energía y aumentar la capacidad de las baterías para que el dispositivo sea capaz de trabajar las 24 horas del día.
- Matlab permite importar datos directamente de thingspeak. Lo que facilita el análisis y procesamiento de los datos enviados a esta plataforma.

- El módulo SIM800L permite medir aspectos importantes de la red los cuales dan a conocer la calidad de la conexión e incluso una distancia aproximada de la antena a la que se encuentra conectado.
- Para medir pH se pueden usar tanto sensores analógicos como dispositivos comerciales pues ambos entregan muy buenas medidas siempre y cuando se encuentren bien calibrados.
- Es posible conocer el comportamiento del voltaje en un panel solar tan solo con 12 horas de monitoreo constante, pues este comportamiento se repetirá de manera periódica teniendo solo algunas pequeñas variaciones según el clima.
- El dispositivo no está diseñado para estar a la intemperie por lo que se recomienda cambiar el diseño para que sea posible usarlo en ambientes más hostiles.

Bibliografía

- ¿Cómo calcular la eficiencia de un Panel Fotovoltaico? - *ilumin* | Cursos de Energía Solar. (n.d.). Retrieved May 5, 2022, from <https://ilumin.online/como-calcular-la-eficiencia-de-un-panel-fotovoltaico/>
- Amazon.com: Gravedad: sensor de conductividad eléctrica analógico/medidor V2 (K=1) : Industrial y Científico. (n.d.). Retrieved March 1, 2022, from <https://www.amazon.com/-/es/Gravedad-conductividad-eléctrica-analógico-medidor/dp/B07L2SRRYL>
- Amazon.com: Paquete de 15 soluciones de calibración de búfer de pH en polvo 4.00/6.86/9.18 para calibrar con precisión el medidor de pH, fácil y preciso paquetes de polvo de calibración del probador de pH : Industrial y Científico. (n.d.). Retrieved February 27, 2022, from <https://www.amazon.com/Buffer-Powder-Meter-Measure-Calibration/dp/B093Z5F32S>
- AT+CSQ - AT Command to Get the Signal Quality Report in GSM Engine « Funny Electronics. (n.d.). Retrieved March 9, 2022, from <http://www.learnerswings.com/2014/05/atcsq-at-command-to-get-signal-quality.html>
- AT+CSQ 与 dBm 的那些事 – Hacper's Blog. (n.d.). Retrieved March 9, 2022, from https://hacperme.com/2021/06/06/at_csq_in_dbm/
- Babatunde, O. M., Munda, J. L., & Hamam, Y. (2020). A Comprehensive State-of-the-Art Survey on Hybrid Renewable Energy System Operations and Planning. *IEEE Access*, 8, 75313–75346. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988397>
- Barrenechea Martel, A. (n.d.). *ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA*.
- Barrio, M. (2018). *Internet de las Cosas*.
- Blanco, F. (1999). *EL RECURSO AGUA* (Issue 1996).
- Buitrago, R. (2005). La Energía del Sol. *ConCiencia*, 14, 8–9. <https://doi.org/10.14409/cc.v1i14.2184>

- Caja Plástica Para Proyectos 19.3 x 20.7 x 9.6 cm REF11*. (n.d.). Retrieved April 11, 2022, from https://ferretronica.com/products/caja-plastica-para-proyectos-19-3-x-20-7-x-9-6-cm-ref11?_pos=3&_sid=e22f7cc07&_ss=r
- Calidad del agua - IDEAM*. (n.d.). Retrieved September 1, 2021, from <http://www.siac.gov.co/calidadagua>
- Cellular Repeater Antennas, LTE and Timing Advance*. (n.d.). Retrieved March 9, 2022, from https://people.csail.mit.edu/bkph/cellular_repeater_TA.shtml
- Cómo es la calidad del agua en Colombia - Salud - EL TIEMPO.COM*. (n.d.). Retrieved September 2, 2021, from <https://www.eltiempo.com/salud/como-es-la-calidad-del-agua-en-colombia-340578>
- Dary, L., Pineda, D., Santa, M. De, Viterbo, R. De, Duitama, H. R. De, & Viterbo, S. R. De. (2014). *Análisis De Situación De Salud Con El Modelo De Los Determinantes Sociales De Salud*. 1–111.
- EOT Santa Rosa De Viterbo*. (2020).
- FAO and IWMI. (2017). *Water pollution from agriculture: a global review Executive summary*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Water Management Institute. 35. <http://www.fao.org/3/a-i7754e.pdf>
- Funcionamiento de una batería de ion-litio - El Blog de Ignacio Mártel*. (n.d.). Retrieved December 1, 2021, from <https://blogs.cdcomunicacion.es/ignacio/2019/02/21/funcionamiento-de-una-bateria-de-ion-litio-pros-y-contras/>
- Google Earth*. (n.d.). Retrieved March 6, 2022, from https://earth.google.com/web/search/5°53%2704.1%22N+72°59%2755.6%22W/@5.88449388,-72.99784752,2855.88942078a,1173.10165025d,35y,-23.69120456h,46.2914168t,0r/data=CI4aNBluGXrilBSziRdAISK-uPnrP1LAKho1wrA1MycwNC4xIk4gNzLCsDU5JzU1LjYiVxgCIAEiJgokCWKvbCG41RdAEay6MogoiRdAGW_ulXqQPILAIWjXzM1XRFLA
- Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor__Meter_V2__K=1__SKU_DFR0300-DFRobot*. (n.d.). Retrieved March 1, 2022, from https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor__Meter_V2__K%3D1__SKU_DFR0300
- IDEAM. (n.d.). *DISTRIBUCIÓN GLOBAL DE LA IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL*.

1–2.

IDEAM. (2013). *Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)*. 96, 1–11.

IDEAM. (2015). Irradiación Global Horizontal Medio Diario Anual. *Ideam*, 1.

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html><http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>

Introduction to Modern Cellular Network. (2016). 2016.

Joseph P. O'Connor. (2016). *Energía solar autónoma*.

La importancia de las energías renovables | ACCIONA | BUSINESS AS UNUSUAL.

(n.d.). Retrieved September 2, 2021, from <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?gclid=Cj0KCQjw7MGJBhD->

[ARIsAMZ0eeu4iNi_1h9HgYAfzh4PpJbO9P6iyKfiJKWIS-](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?gclid=Cj0KCQjw7MGJBhD-ARIsAMZ0eeu4iNi_1h9HgYAfzh4PpJbO9P6iyKfiJKWIS-zfbsv360X4ZLMHH00aAveIEALw_wcB&_adin=02021864894)

[zfbsv360X4ZLMHH00aAveIEALw_wcB&_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?gclid=Cj0KCQjw7MGJBhD-ARIsAMZ0eeu4iNi_1h9HgYAfzh4PpJbO9P6iyKfiJKWIS-zfbsv360X4ZLMHH00aAveIEALw_wcB&_adin=02021864894)

Liñán Colina, A., Vives, A., Bagula, A., Zennaro, M., & Pietrosevoli, E. (2016). *Internet of Things IN 5 DAYS*. 227.

Más información - ThingSpeak IoT. (n.d.). Retrieved September 2, 2021, from

https://thingspeak.com/pages/learn_more

Modulo Carga y Descarga Baterias. (n.d.). Retrieved December 1, 2021, from

https://ferretronica.com/products/modulo-carga-y-descarga-baterias-18650-2-celdas-2s-10a?_pos=2&_sid=986665214&_ss=r

Modulo Sensor de pH Analogo 0 ~ 14 con Sonda BNC. (n.d.). Retrieved January 15,

2022, from [https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-de-ph-analogo-0-14-con-sonda-](https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-de-ph-analogo-0-14-con-sonda-bnc?variant=37078541893793¤cy=COP&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2021-10-19&utm_source=google&utm_medium=smart_campaign&gclid=EAlaIQobChMIwvaUp4i19QIVCI2GCh12xgC0EAQYASABEgKsC_D_BwE)

[bnc?variant=37078541893793¤cy=COP&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2021-10-](https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-de-ph-analogo-0-14-con-sonda-bnc?variant=37078541893793¤cy=COP&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2021-10-19&utm_source=google&utm_medium=smart_campaign&gclid=EAlaIQobChMIwvaUp4i19QIVCI2GCh12xgC0EAQYASABEgKsC_D_BwE)

[19&utm_source=google&utm_medium=smart_campaign&gclid=EAlaIQobChMIwvaUp4i19QIVCI2GCh12xgC0EAQYASABEgKsC_D_BwE](https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-de-ph-analogo-0-14-con-sonda-bnc?variant=37078541893793¤cy=COP&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2021-10-19&utm_source=google&utm_medium=smart_campaign&gclid=EAlaIQobChMIwvaUp4i19QIVCI2GCh12xgC0EAQYASABEgKsC_D_BwE)

Modulo TTGO T-CALL ESP-32 WIFI/BLUETOOTH/SIM800L. (n.d.). Retrieved January 4,

2022, from <https://www.bigtronica.com/comunicaciones/wi-fi/2402-modulo-ttgo-t-call-esp-32-wifiblueoothsim800l-5053212024024.html>

Módulos comunicación : Módulo GSM/GPRS SIM800L. (n.d.). Retrieved January 13,

2022, from <https://www.eneka.com.uy/robotica/modulos-comunicacion/módulo-gsm-gprs-sim900-7477-detail.html>

- Nations, U. (n.d.). *Agua | Naciones Unidas*. Retrieved July 30, 2021, from <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Novillo, J., Hernández, D., Mazón, B., Molina, J., & Cárdenas, O. (2018). *ARDUINO Y EL INTERNET DE LAS COSAS. Paneles solares: funcionamiento de la energía fotovoltaica*. (n.d.). Retrieved December 1, 2021, from <https://galakia.com/celulas-paneles-solares-energia-fotovoltaica/>
- Pettyjohn, W. A. (1972). *Water Quality in a Stressed Environment: Readings in Environmental Hydrology*.
- PVGIS European Commission. (2015). *Datos Mensuales de Irradiación*. 5–6. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- Rendimiento de Placas Solares - Dimensiones, Potencias y Eficiencia*. (n.d.). Retrieved April 19, 2022, from <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/paneles-solares-rendimiento/>
- Rodrigues, D., Sanchez, L., & Castro, M. (2013). *INFORME EJECUTIVO DE GESTION EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS SANTA ROSA DE VITERBO.pdf*.
- Secretaria de salud departamental de Boyacá. (2012). *Mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano de quebrada grande, fuente abastecedora del casco urbano del municipio de santa rosa de viterbo - boyaca*. 7420111–7420131.
- Sensor de Conductividad Eléctrica Analógico Para Arduino*. (n.d.). Retrieved January 15, 2022, from <https://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-conductividad-electrica-analogico-para-arduino-detail.html>
- Sensor de temperatura DS18B20 estanco Adafruit 381 | BricoGeek.com*. (n.d.). Retrieved January 14, 2022, from <https://tienda.bricogeek.com/sensores-temperatura/510-sensor-ds18b20-estanco.html>
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (L. D. López (Ed.)).
- SIMCom. (2015). *SIM800 Series_AT Command Document Title: SIM800 Series AT Command Manual*. 1–380.
- Sivilab | INS*. (n.d.). Retrieved October 2, 2021, from <https://sivilab.ins.gov.co/SIVILAB/ReportesCG/ReportesSIVICAP?menuId=228>
- TTGO T-Call V1.3 ESP32 con SIM800L 240 Mhz - Tarjeta de desarrollo*. (n.d.). Retrieved January 4, 2022, from <https://uelectronics.com/producto/ttgo-t-call-v1-3-esp32-con-sim800l-240mhz/>

