



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA:
INGENIERIA ELECTRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO
REAL DE SENSORES DE TEMPERATURA, TURBIDEZ, TDS Y PH PARA LA
CALIDAD DEL AGUA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA LORAWAN**

**AUTOR:
DAVID ANDRES SILVA TORRES
JAFET ISAAC COELLO HURTADO**

**TUTOR:
ING. Mónica Miranda Ramos**

Guayaquil, Octubre del 2020

CERTIFICADO DE CESION DERECHOS DE AUTOR

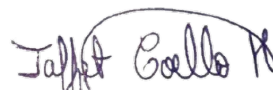
Por medio de la presente yo **David Andrés Silva Torres**, con cedula de identidad N° 0927361899 y **Jaffet Isaac Coello Hurtado** con cedula de identidad N° 1205210584, cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana los derechos patrimoniales en virtud que somos los autores del proyecto de titulación : **“Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de sensores de temperatura, turbidez, TDS y PH para la calidad del agua utilizando la tecnología LoRaWan”**, mismo que ha sido desarrollado para la obtención del título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana.

Como autores del trabajo de titulación me reservo los derechos morales, redactado en este documento, hacemos la entrega del trabajo en formato digital e impreso a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Octubre del 2020



David Silva Torres
Cedula: 0927361899



Jaffet Coello Hurtado
Cedula: 1205210584

**CERTIFICADO DE AUTORIA DE TRABAJO DE TITULACION Y
RESPONSABILIDAD**

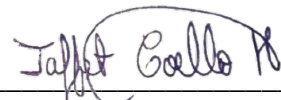
David Andrés Silva Torres y **Jaffet Isaac Coello Hurtado** autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total del trabajo de titulación y su reproducción sin beneficio de ganancia.

Además, aclaro que el trabajo de titulación basado en los requisitos de la Universidad Politécnica Salesiana previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico es de propiedad única, con tema de **Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de sensores de temperatura, turbidez, TDS y PH para la calidad del agua utilizando la tecnología LoRaWan.**

Guayaquil, Octubre del 2020



David Silva Torres
Cedula: 0927361899



Jaffet Coello Hurtado
Cedula: 1205210584

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACION POR PARTE DEL TUTOR

Yo **Mónica Miranda Ramos**, tutora del trabajo con tema “**Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de sensores de temperatura, turbidez, TDS y PH para la calidad del agua utilizando la tecnología LoRaWan**” desarrollado por los estudiantes, **David Andrés Silva Torres** y **Jaffet Isaac Coello Hurtado**, certifico haber revisado y orientado el trabajo de titulación durante su elaboración y desarrollo, por lo tanto, se aprueba la presentación del tema ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, Octubre del 2020



**Tutora del trabajo de titulación
Ing. Mónica Miranda Ramos**

DEDICATORIA

En primer lugar quiero agradecer a Dios por darme la vida y la fuerza necesaria y bendiciones recibidas, gracias a mis padres María Torres Rodríguez y Ángel Silva Onofa, a mis hermanos Fiorella Silva, Rafael Silva y a todos mis familiares ya que han sido un pilar fundamental en toda mi carrera universitaria y en mi vida. Ya que sin sus consejos y sin su apoyo no estaría en el lugar que estoy ahora.

David Andrés Silva Torres

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional. A mis padres y hermanos por su amor incondicional, trabajo y sacrificio durante todos estos años. A mis tíos, abuelos y toda mi familia por sus consejos y su constante apoyo. A mí prometida Katherine, por su cariño y apoyo incondicional durante este proceso, motivándome y ayudándome hasta donde sus alcances lo permitan.

Jaffet Isaac Coello Hurtado

AGRADECIMIENTO

En primer lugar queremos agradecer a Dios principalmente por llenarnos de salud, vida y por todas las bendiciones que se nos han brindado, y por la sabiduría que nos ha brindado ya que sin el esto no fuera posible, a nuestros queridos padres ya que ellos han sido un pilar fundamental durante nuestra carrera universitaria por sus consejos y principalmente su apoyo, agradecemos a los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por compartir sus conocimientos ya sea en laboratorios y en aulas de clase.

Un agradecimiento especial a la Ingeniera Mónica Miranda Ramos por habernos guiado en todo momento tanto en las aulas de clases y durante este proyecto, por despejar las dudas existentes durante la elaboración de la tesis.

RESUMEN

AÑO	TÍTULO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO	TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN
2020	Ingeniero Electrónico	David Silva Torres. Jaffet Coello Hurtado.	Ing. Mónica Miranda	Diseño e implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de sensores de temperatura, turbidez, TDS y PH para la calidad del agua utilizando la tecnología LoRaWan

El presente proyecto de titulación tiene por objetivo diseñar e implementar un sistema para el monitoreo de la calidad del agua utilizando la comunicación LoRaWAN, con el fin de brindar agua de mejor calidad, también se buscará una integración de redes de sensores inalámbricas orientadas al internet de las cosas (IOT). Al poder trabajar en una red IOT se puede facilitar el envío de información a través de largas distancias, con un bajo consumo de energía, recepción y transmisión de datos en tiempo real facilitando la obtención y análisis de datos obtenidos de una fuente de agua. El prototipo será capaz de medir características básicas presentes en el agua, algunos de los cuales son muy importantes para el consumo humano.

El uso de dispositivos sensoriales ha ido incrementando de manera exponencial y a la vez se ha ampliado sus campos de aplicaciones, ya que no solo se le dará un papel importante en el área industrial, en este caso se lo aplicará para el control de factores ambientales orientadas al agua como por ejemplo la temperatura, la turbidez, el potencial de hidrogeno del agua (PH) y total de solidos disueltos (TDS).

Actualmente en el mercado hay muchas tecnologías que interactúan con el internet de las cosas y que son de largo alcance, pero este proyecto se concentrara en la implementación de tecnología LoRaWan. La red implementada consta de un gateway en el cual se podrá recopilar información y un nodo sensor en el cual estarán conectados sensores de temperatura, PH, turbidez y solidos disueltos, estos sensores estarán conectados a una placa Arduino a través de un código abierto, los datos obtenidos de los sensores podrán ser observados en una página web y posteriormente ser visualizado en una app con esto podremos tener un informe más detallado de los datos obtenidos.

ABSTRACT

YEAR	TITLE	STUDENTS	TECHNICAL PROJECT MANAGER	ITEM OF PROJECT OF TITULATION
2020	Ingeniero Electrónico	David Silva Torres. Jaffet Coello Hurtado.	Ing. Mónica Miranda.	Design and implementation of a real-time monitoring system of temperature, turbidity, TDS and PH sensors for water quality using LoRaWan technology

The objective of this degree project is to design and implement a system for monitoring water quality using LoRaWAN communication, in order to provide better quality water, it will also seek an integration of wireless sensor networks oriented to the internet of things (IOT). By being able to work in an IOT network, it is possible to facilitate the sending of information over long distances, with low energy consumption, reception and transmission of data in real time, facilitating the obtaining and analysis of data obtained from a water source. The prototype will be able to measure basic characteristics present in the water, some of which are very important for human consumption.

The use of sensory devices has been increasing exponentially and at the same time its fields of applications have been expanded, since not only will it be given an important role in the industrial area, in this case it will be applied to control environmental factors oriented to water such as temperature, turbidity, hydrogen potential of the water (PH) and total dissolved solids (TDS).

Currently on the market there are many technologies that interact with the Internet of Things and are far-reaching, but in this project we will focus on the implementation of LoRaWan technology. The implemented network consists of a gateway in which information can be collected and a sensor node in which temperature, PH, turbidity and dissolved solids sensors will be connected, these sensors will be connected to an Arduino board through an open source, the Data obtained from the sensors can be observed on a web page and later viewed in an app with this we can have a more detailed report of the data obtained.

INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE CESION DERECHOS DE AUTOR.....	II
CERTIFICADO DE AUTORIA DE TRABAJO DE TITULACION Y RESPONSABILIDAD.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACION POR PARTE DEL TUTOR	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
INDICE DE FIGURAS	XII
INDICE DE TABLAS	XIII
INTRODUCCION	1
EL PROBLEMA	2
1.1 Descripción del Problema	2
1.2 Importancia y Alcance	2
1.3 Delimitación.....	3
1.3.1 Delimitación Temporal	3
1.3.2 Delimitación Espacial	3
1.3.3 Delimitación Académica.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Descripción De La Propuesta.....	3
1.6 Grupo Beneficiario.....	4
1.7 Objetivos	4
1.7.1 Objetivo General	4
1.7.2 Objetivos Específicos.....	4
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1 Parámetros Para la Calidad Del Agua.....	5
2.1.1 Parámetros Físicos	5
2.1.2 Parámetros Químicos	6
2.1.3 Parámetros Biológicos	7
2.1.4 Parámetros Radiológicos.....	8
2.2 Internet De Las Cosas (IOT).....	8
2.3 Red de Sensores Inalámbricos	10
2.3.1 Tecnología LoRa.....	12
2.3.2 Modulación LoRa.....	12
2.3.3 Formato De La Trama Física De LoRa.....	13

2.4 LoRaWAN	14
2.4.1 Protocolo LoRaWAN.....	14
2.4.2 Topología LoRaWAN.....	15
2.4.3 Clases de Dispositivos LoRaWAN	16
2.4.4 Seguridad LoRaWAN	18
2.5 Red LPWAN	18
2.6 Tecnología Arduino	19
2.6.1 Arduino Uno	20
2.6.2 Características Técnicas de Arduino Uno	20
2.7 Modulo LoRa ESP32	21
2.8 Batería	24
2.8.1 Tipos de batería.....	24
MARCO METODOLOGICO.....	26
3.1 Metodología De Investigación	26
3.1.1 Técnica De Investigación.....	26
3.1.2 Técnica De Campo.....	27
3.2 Procedimiento Del Proyecto	27
3.2.1 Investigación Del Proyecto	27
3.2.2 Diseño Del Prototipo.....	27
3.2.3 Finalización y Pruebas Finales.....	27
3.3 Diagrama De Comunicación LoRaWAN.....	28
3.4 Sensores	30
3.4.1 Sensor De Temperatura.....	30
3.4.2 Sensor de solidos disueltos (TDS)	34
3.4.3 Sensor de Potencial De Hidrogeno (PH).....	38
3.4.4 Sensor de turbidez	42
3.5 Diseño De Los Nodos	44
3.5.2 Nodo Sensor.....	44
3.5.1 Nodo Gateway.....	45
3.6 Interfaces Para Mostrar Resultados En Tiempo Real	46
3.6.1 Base De Datos	46
3.6.2 Implementación De La Página Web	47
3.7 Creación De la APP Android Para El Monitoreo.....	47
PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS	49
4.1 Pruebas De Funcionamiento	49
4.1.1 Obtención De Datos.....	49
4.1.2 Visualización De Datos	50
4.2 Pruebas y Análisis De Resultados	51
4.2.1 Simulación Radio Mobile	52

4.2.2 Prueba En Tanque De Agua Cruda.....	54
4.2.3 Prueba En Tanque De Agua Procesada	56
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	60
GLOSARIO	61
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS	65
.....	65

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arquitectura de red IOT. Fuente: (rs-online, 2019)	9
Figura 2 Componentes de una WSN. Fuente: (Instruments N. , 2019)	11
Figura 3 componentes de un Nodo Sensor. Fuente: (blogspot.com, 2012)	12
Figura 4 Capas del Protocolo LoRaWan. Fuente: (Medium, 2017)	14
<i>Figura 5 Características de trabajo de LoRaWan. Fuente: (IOT, 2019).....</i>	<i>15</i>
Figura 6 Arquitectura LoRaWAN. Fuente: (Perez, 2018).....	16
Figura 7 Dispositivo final Clase A. Fuente: (TheThingsNetwork, 2019)	17
Figura 8 Dispositivo final Clase C. Fuente: (TheThingsNetwork, 2019).....	17
Figura 9 Flujo de datos y seguridad LoRaWan. Fuente: (DigiKey, 2017).....	18
Figura 10 Conectividad IOT LPWAN. Fuente: (Aprendiendoarduino, 2018)	19
Figura 11 Redistribución de pines de la tarjeta Arduino Uno. Fuente: (Infootec, 2019)	20
Figura 12 Modulo esp32 Lora Fuente: (Heltec, Heltec Automation, 2020).....	22
Figura 13 Diagrama esquemático de los pines fuente: (Heltec, heltec.org, 2020)	22
Figura 14 Diagrama de comunicación LoRaWAN, Fuente:(Silva, Coello)	28
Figura 15 Módulos LoRa Emisor/Receptor, Fuente:(Silva, Coello)	30
Figura 16 Sensor de temperatura DS18B20, Fuente :(Silva, Coello).....	30
Figura 17 Conexión del sensor DS18B20. Fuente: (DFROBOT, 2020)	32
Figura 18 Conexión del Arduino, ESP32 LoRa y sensor de temperatura, Fuente:(Silva, Coello)	32
Figura 19 Diagrama de flujo de Temperatura. Fuente: (Silva, Coello)	33
Figura 20 Sensor de TDS Fuente: (Silva, Coello)	34
Figura 21 Conexión del sensor TDS. Fuente: (DFROBOT-TDS, 2020).....	36
Figura 22 Conexión Arduino, ESP32 LoRa y sensor TDS, Fuente:(Silva, Coello)	36
Figura 23 Diagrama de flujo TDS. Fuente: (Silva, Coello).....	37
Figura 24 Sensor de PH. Fuente:(Silva, Coello).....	38
Figura 25 Conexión del sensor de PH. Fuente:(Silva, Coello).....	40
Figura 26 Conexión Arduino, ESP32 LoRa y sensor de PH, Fuente:(Silva, Coello).....	40
Figura 27 Diagrama de flujo del sensor de PH. Fuente:(Silva, Coello)	41
Figura 28 Grafico Relación ppm/ntu Fuente: (Github, 2020)	42
Figura 29 Diagrama de flujo para la turbidez Fuente:(Silva, Coello)	43
Figura 30 Diagrama de conexión de los componentes, Fuente :(Silva, Coello).....	44
Figura 31 Nodo Sensor, Fuente:(Silva, Coello).....	45
Figura 32 Configuración para conexión WIFI, Fuente :(Silva, Coello)	45
Figura 33 Relación de campos entre base de datos, Fuente: (Singh, 2020)	46
Figura 34 Colección “Sensores” en Firestore, Fuente:(Silva, Coello)	47
Figura 35 Visualización de la aplicación móvil, Fuente:(Silva, Coello)	48
Figura 36 Obtención de datos de los sensores, Fuente: (Silva, Coello).....	49
Figura 37 Obtención de los datos en la base de datos, Fuente: (Silva, Coello).....	50
Figura 38 Datos en la base de datos, Fuente: (Silva, Coello)	50
Figura 39 Visualización de datos en aplicación móvil, Fuente: (Silva, Coello).....	51
Figura 40 Distancia Nodo Emisor-Gateway, Fuente: (Silva, Coello)	52
Figura 41 Resultados de la simulación, Fuente: (Silva, Coello).....	53

Figura 42 Umbral de recepción, Fuente: (Silva, Coello).....	53
Figura 43 Tanque de agua cruda, Fuente: (Silva, Coello).....	54
Figura 44 Temperatura y Turbidez del agua cruda, Fuente: (Silva, Coello)	55
Figura 45 PH y TDS del agua cruda, Fuente: (Silva, Coello)	55
Figura 46 Tanque de Agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello).....	56
Figura 47 Temperatura del Agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello)	56
Figura 48 Turbidez del agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello)	57
Figura 49 PH del Agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello).....	57
Figura 50 TDS Del Agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello)	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías de largo alcance para IOT. Fuente: (Silva, Coello).....	10
Tabla 2 bandas de frecuencias LoRa. Fuente: (Silva, Coello).....	12
Tabla 3 Formato de trama física, Fuente :(Silva, Coello).....	13
Tabla 4 Tipo de mensajes MAC, Fuente :(Silva, Coello).....	13
Tabla 5 Características del Arduino Uno. Fuente: (Infootec, 2019).....	21
Tabla 6 Características técnicas de un esp32 Lora Fuente: (Silva, Coello).....	23
Tabla 7 Tipos de baterías comerciales. Fuente: (Silva, Coello)	25
Tabla 8 Comparación entre baterías. Fuente: (Vergara, 2018).....	25
Tabla 9: Relación entre SF y la sensibilidad, Fuente: (Quimbita, 2018).....	29
Tabla 10 Características de sensor DS18B20. Fuente: (DFROBOT, 2020).....	31
Tabla 11 Características del sensor TDS. Fuente: (DFROBOT-TDS, 2020).....	35
Tabla 12 Características del sensor de PH. Fuente: (DiyMore, 2020)	39

Anexo 1 Diagrama esquemático del sensor de PH	65
Anexo 2 Diagrama esquemático del sensor de TDS.....	66
Anexo 3 Programación Tarjeta Arduino.....	67
Anexo 4 Programación módulo ESP 32 LoRa Transmisor	71
Anexo 5 Programación Módulo ESP 32 LoRa Receptor	73

INTRODUCCION

El mundo de las redes informáticas y redes inalámbricas ha evolucionado de tal forma que se ha buscado nuevas técnicas de conectividad entre varios dispositivos. Este crecimiento viene relacionado con el desarrollo de las tecnologías IOT que básicamente es la integración de todas las redes en un mismo punto, este proyecto se centrara en la tecnología LoRaWAN (acrónimo en inglés, Long Range Wide-área Network), estas son redes diseñadas específicamente para dispositivos de bajo consumo de alimentación pero que a su vez poseen un largo alcance.

En la actualidad el gran desarrollo de las tecnologías en especial las redes inalámbricas han abarcado un gran campo en el monitoreo de entornos ya sean industriales o ambientales, con la ayuda de nodos en los cuales se compondrán de diferentes dispositivos sensoriales se podrá recopilar la información necesaria para el análisis de un ambiente en este caso cualquier fuente de agua que se desee analizar.

Con la tecnología que se va a implementar podremos recopilar información desde una distancia considerable, aporte fundamental de esta tecnología otra característica es el uso de frecuencias libres ya que trabaja en bandas ISM estas son bandas que no necesitan algún tipo de licencia.

En este proyecto se analizarán los siguientes factores en el agua como: Temperatura, PH, Turbidez y TDS (acrónimo, total de solido disuelto).

En el capítulo I, se procede a identificar el problema existente, se establecerán las delimitaciones para este proyecto y por último se establecerán los objetivos tanto el principal como los objetivos secundarios para la creación de un módulo de monitoreo para la calidad del agua.

En el capítulo II, se describen conceptos generales, información básica para poder entender la metodología y comprender los diferentes equipos que se van a utilizar.

En el capítulo III se describe información más específica, diseño de la red, y los protocolos a usar.

En el capítulo IV se describen todos los análisis, los resultados obtenidos durante las pruebas, conclusiones y recomendaciones para un trabajo a futuro.

EL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

El problema principal de la planta purificadora de Agua Siria ubicada en Vinces- Los Ríos, radica en los gastos que se generan al realizar los exámenes en laboratorios de otras provincias, donde luego de 7 días laborables notifica a la empresa los resultados de la muestra. Ya que la empresa cuenta con equipos convencionales para la supervisión del líquido, ya que no posee con un laboratorio de toma de muestras interno.

Por otra parte, la pérdida de tiempo que debe tomarse el personal responsable de sustraer muestras del reservorio de agua purificada para realizar las correspondientes mediciones antes del envasado.

A su vez se observó que el personal detiene la producción para realizar la toma de muestras para su correspondiente análisis. Teniendo en cuenta que el proceso de toma de muestras se realiza 2 veces en la jornada, con equipos como TDS convencional y el kit de Ph (este debe contar con químicos extra para su muestra de resultado).

Considerando el bajo consumo energético, y módulos inalámbricos de bajo costo ¿es posible diseñar un dispositivo que pueda monitorear los parámetros de la calidad de agua?

1.2 Importancia y Alcance

Esta investigación es muy importante ya que permite verificar el estado en la que se encuentra una afluyente de agua y así poder determinar si cumple con las características básicas para el consumo humano.

En la actualidad la tecnología de redes inalámbricas ha venido avanzando a un paso agigantado en comparación de años anteriores, gracias a los nuevos avances tecnológicos se pudo crear una red con tecnología LoRaWAN.

Realizar esta red con dispositivos inalámbricos permite que los sensores puedan ser monitoreados de una forma remota, ya que no se tendría que estar tan al pendiente del equipo ya que con una buena cobertura el nodo sensor podría funcionar ininterrumpidamente, gracias a esto podríamos reducir costos como la inspección y el control de los sensores ya que estos podrían ser monitoreados desde un ordenador.

Una de las características más importantes de este proyecto es el uso de nodos y sus implementaciones ya que con esto se podría construir una red mucho más amplia con más nodos.

1.3 Delimitación

1.3.1 Delimitación Temporal

La implementación de este proyecto de monitoreo estaba designada a ser desarrollada en el segundo semestre del 2019 y el primer trimestre del 2020 pero por motivo de la emergencia sanitaria hubo un retraso haciendo que tome más tiempo del previsto anteriormente.

1.3.2 Delimitación Espacial

El proyecto propuesto se realiza en la planta purificadora de Agua Siria ubicada en Vinces, para exponer la funcionalidad del sistema que se implementará.

1.3.3 Delimitación Académica

Para la implementación de este proyecto se deben cumplir todos los requerimientos de la Universidad Politécnica Salesiana, además se pondrán a prueba los conocimientos adquiridos durante el proceso de estudio como por ejemplo redes inalámbricas, programación, sistemas de comunicaciones y otros conocimientos que complementan la investigación.

1.4 Justificación

La notable ausencia de un sistema que permitiera medir características básicas del agua dentro de una planta de agua ha ocasionado que demore el tiempo de producción y envasado ya que antes se debían realizar pruebas en laboratorios o pruebas mediante sensores manuales, por esta razón se planteará un sistema que ayude a resolver este inconveniente.

1.5 Descripción De La Propuesta

La propuesta consiste en implementar la tecnología LoRaWAN para lograr el monitoreo de la calidad del agua, con el objetivo de poder ver las características de esta y poder determinar si presenta señales de contaminación y en caso de presentarlas poder tomar acciones correspondientes.

1.6 Grupo Beneficiario

El beneficiario directo será la planta purificadora y envasadora Agua Siria. Ya que podrán disminuir su tiempo de producción ya que no tendrán que parar el trabajo para la toma de muestras. A su vez estarían involucradas las microempresas que están surgiendo en el país en esta actividad.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de sensores de temperatura, turbidez, TDS y PH para la calidad del agua utilizando la tecnología LoRaWan.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el Diagrama de Comunicación para el uso de LoRaWan.
- Diseñar las Interfaces para mostrar resultados en tiempo real.
- Implementar un sistema de Software libre para el monitoreo.
- Diseñar una app en Android mediante la aplicación app inventor.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Parámetros Para la Calidad Del Agua

Cuando se refiere el término calidad del agua la utilizamos para describir la composición y la condición del agua, esta condición posee 4 parámetros los cuales son: parámetros físicos, químicos, biológicos y radiológicos, según estos parámetros podremos decidir sobre su calidad y así disponer para su uso adecuadamente, ya sea consumo humano, sistemas de riego, acuicultura entre otros.

Los parámetros para la calidad del agua nunca van a ser los mismos, esto va a depender del uso que se le vaya a dar al agua y según su uso este tendrá valores mínimos y valores máximos aceptables. Por ejemplo, los valores del agua para el consumo humano no van a ser igual que el de los sistemas de riego. En Ecuador estos valores son dictaminados por el Ministerio De Ambiente en conjunto con la Secretaria de Agua y a la vez son establecidos en la resolución de Estrategia Nacional de calidad del agua “ENCA”. (Ambiente, 2016)

La calidad del agua posee 4 características o parámetros principales los cuales son:

1. Parámetros Físicos
2. Parámetros Químicos
3. Parámetros Biológicos
4. Parámetros Radiológicos

2.1.1 Parámetros Físicos

Los parámetros físicos son indicadores relativos por lo tanto no se consideran índices totales de contaminación, los parámetros físicos poseen varias características como por ejemplo:

Sabor y olor: Estos dos indicadores son características organolépticas esto quiere decir que las podemos percibir mediante nuestros sentidos, son parámetros subjetivos por lo tanto no tienen una unidad de medida.

Color: el color es un parámetro que posee la capacidad de absorber radiaciones del espectro visible, hay varias razones por el cual el agua se torne de un color específico la mayoría son por que observen materiales del suelo, por ejemplo:

Cuando el agua presenta una tonalidad amarilla es porque indica presencia de ácidos húmicos, tonalidad rojiza indica que hay presencia de hierro y la tonalidad negra indica la presencia de manganeso. Estos parámetros no descalifican que el agua pueda ser potable o no.

Turbidez: mediante este parámetro podemos ver la medida en la cual el agua pierde su transparencia y transmisión de luz debido a materiales insolubles, coloidales o materiales no muy finos que se encuentran en suspensión. La turbidez se mide en NTU (unidades nefelométrías de turbidez).

Conductividad Eléctrica: la conductividad eléctrica es la capacidad que tiene un objeto en este caso el agua para transportar electricidad. La conductividad eléctrica se da como el resultado del movimiento de partículas debido a un campo eléctrico aplicado en cierto punto.

La conductividad es una medida de interés ya que indica la presencia de material ionizante presente en el agua, esto se debe a que el agua pura no conduce electricidad, por lo tanto el grado de conductividad del agua dependerá de las impurezas presentes en el agua, este parámetro suele ser considerado como un buen parámetro físico para la calidad del agua, la conductividad posee 3 condiciones para que esta sea representativa. (Monarca, 2019)

- Que no sea por contaminación orgánica
- Las mediciones deben ser medidas con la misma temperatura
- La composición del agua debe ser constante

Temperatura: la temperatura es un parámetro físico, el cual permite medir el calor o el frío que posee un cuerpo, en este caso la medición de la temperatura del agua y su unidad de medida es grados centígrados (°C).

La temperatura es un parámetro importante ya que esta puede afectar la cantidad de oxígeno existente en el agua, cuando la temperatura es elevada el agua presentará una baja cantidad de oxígeno, mientras que si el agua posee una baja temperatura el agua tendrá una mayor cantidad de oxígeno. (COBCM/COBCLM, 2015)

La temperatura afecta al PH directamente, por ejemplo el agua pura posee un PH de 7 unidades cuando se está a una temperatura de 25 °C y cuando la temperatura aumente el PH disminuye esto se debe a que cuando aumenta la temperatura las moléculas tienden a descomponerse en hidrogeno y oxígeno al darse esta reacción hace que haya más potencial de hidrogeno PH. (Instruments H. , 2019)

2.1.2 Parámetros Químicos

Los parámetros químicos son aquellas características que están relacionadas con la capacidad natural del agua para disolver diferentes sustancias como por ejemplo el PH, alcalinidad, solidos disueltos y otros nutrientes más.

PH: del acrónimo potencial de hidrogeno, es la medida para la concentración de iones de hidrogeno y da una estimación de una naturaleza acida o alcalina de una solución acuosa.

El PH es un parámetro muy importante ya que con esto podemos determinar la calidad del agua residual, ya que dependiendo su rango de pH se desarrollarán algunos procesos biológicos y supervivencia de especies acuáticos.

La mayoría de aguas naturales posee un pH de entre 6 y 8 unidades.

Dureza del agua: parámetro causado por la presencia y acumulación de sales de calcio y magnesio en el agua, dependiendo de estos parámetros podremos apreciar el nivel del agua para producir incrustaciones. (Monarca, 2019)

Alcalinidad: la alcalinidad es una medida que se usa generalmente para la neutralización de ácidos dentro de una solución acuosa.

Coloides: medida para los materiales que se encuentran en suspensión en el agua, los coloides pueden ser de origen orgánico e inorgánico y suelen poseer un tamaño de 10,4 a 10.5 mm.

Solidos disueltos: el total de solidos disueltos es una medida para la materia disuelta en el agua y solidos que están en suspensión su unidad de medida es ppm (partículas por millón).

Sólidos en suspensión: los sólidos en suspensión son sustancias que se encuentran en fuentes acuosas en forma de sedimento, estos no están disueltos por lo que pueden ser filtrados al igual que los sólidos disueltos su medida es la ppm.

Solidos totales: los sólidos totales es la suma total de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión.

Metales tóxicos: son sustancias cuyos residuos deben ser monitoreados cuidadosamente ya que pueden causar una grave contaminación y daños a la salud las sustancias más comunes que se pueden encontrar son el arsénico, plomo, cadmio y bario.

2.1.3 Parámetros Biológicos

Los parámetros biológicos hacen referencia a una contaminación orgánica y biológica ya que en ella interactúan la contaminación natural como humana, cuando hablamos de una contaminación biológica hace referencia a una contaminación más difícil de controlar que la química y física,

Los parámetros biológicos deben ser monitoreados constantemente.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): la demanda biológica de oxígeno a la cantidad de oxígeno que los microorganismos como bacterias, hongos y plancton consumen durante la degradación de sustancias más específicamente materia orgánica.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): la demanda química de oxígeno es un parámetro en el cual se calcula la cantidad de oxígeno necesario para degradar la materia presente es una muestra.

Carbón Orgánico Total: es una medida para el contenido de la materia orgánica en el agua y se lo usa como un parámetro para la calidad del agua.

2.1.4 Parámetros Radiológicos

Los parámetros radiológicos es la medida para la emisión de partículas producto de la descomposición de materiales radiactivos. A diferencia de los parámetros anteriores este parámetro es sumamente nocivo para los seres humanos y para el medio ambiente.

Se debe monitorear los parámetros radiológicos cuando materiales radiactivos como el uranio, radio y otros elementos generen y emitan partículas alfa y beta dentro de una muestra.

2.2 Internet De Las Cosas (IOT)

Gracias a las innovaciones de la electrónica y la informática junto a las tecnologías de la información y comunicación han empezado un crecimiento exponencial de los procesos de información y comunicación.

Una de estos avances es el internet de las cosas (IOT) del acrónimo internet of things esta tecnología se dio como una gran apuesta en un futuro no muy distante, pero actualmente cada vez se está trabajando más este tema. Hoy en día tenemos varias definiciones sobre el IOT pero lo podríamos definir como: “una tecnología basada en la conexión de objetos cotidianos a internet que intercambian, agregan y procesan información sobre su entorno físico para proporcionar servicios a usuarios finales” (Barrio, 2018)

El internet de las cosas se debe gracias al proceso continuo de la expansión de internet a todos los lugares y la gestión de nuevas tecnologías, gracias a todo esto el IOT se ha considerado como uno de los principales agentes para una nueva revolución industrial junto a la robótica y a la inteligencia artificial.

El internet de la cosas desde hace un poco de años atrás ya no es un tema de ciencia ficción sino que ya es un tema presente por el momento en ciudades más desarrolladas tecnológicamente puesto que en ellas hay una conexión a internet más estable y de mayor velocidad.

Teniendo en claro el concepto del internet de las cosas un ejemplo de este podría ser un Smart Home en la cual se podría tener el acceso y control de todos los equipos tecnológicos en el hogar, saber si los equipos están funcionando correctamente. Mediante el uso de sensores monitorear los movimientos dentro de una casa y según la cantidad de luz ir aumentando la luminosidad de los focos dentro de la casa. Este podría ser un ejemplo básico de IOT que sin duda se están implementando dentro de casas inteligentes.

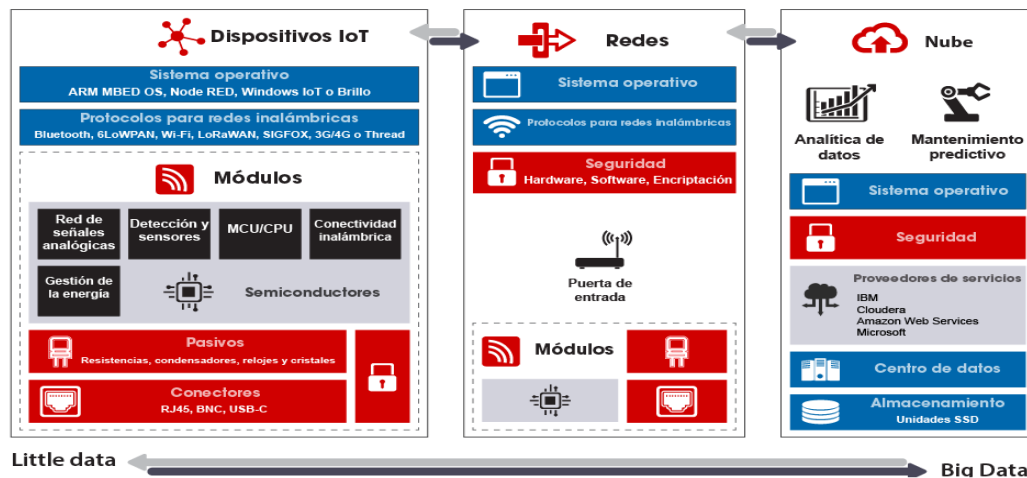


Figura 1 Arquitectura de red IOT. Fuente: (rs-online, 2019)

Como se puede ver en la figura 1 la arquitectura de red de una red IOT, tiene 3 componentes, los dispositivos IOT suelen ser los dispositivos finales y suelen estar conectados mediante cable o inalámbricamente, las redes son la parte intermedia suelen ser routers, gateway y su función es la de conectar a los dispositivos finales con la nube y por último la nube que son los encargados de recopilar los datos emitidos por los dispositivos.

Si bien es cierto una de las principales ventajas de trabajar en una red IOT es la convergencia de redes y el uso variado de protocolos, a continuación, se presentará una tabla comparativa de protocolos de un largo alcance orientado hacia el IOT.

Protocolo	Frecuencia	Rango	Velocidad de Datos	Topología de Red	Gateway	Privado o Abierto
zigbee	2.4 Ghz- 915 Mhz 868 Mhz (ue)	100-325 ft	250 kbps(2.4) 40 kbps(915) 20 kbps (868)	Malla	Si	abierto
Wifi	2.4Ghz /5 Ghz	115-230	7Gbps	Estrella	No	abierto
Wifi(halow)	900 Mhz	3000 ft	347 Mbps	Estrella	No	abierto
Digimesh	2.4 Ghz- 915Mhz 868 Mhz (UE)	20 millas	250 kbps(2.4) 40 kbps(915) 20 kbps (868)	Malla	Si	Privado
MIWI	2.4 Ghz	800 ft	250 kbps	Malla/ estrella	si	Privada
6LowPAN	2.4 Ghz	380 ft	250 kbps	Malla	Si	Abierto
MCTHING	2.4 Ghz	650 ft	50 kbps	Estrella	Si	Privado
LORA	150 Mhz 1Ghz	20 millas	50 kbps	Estrella	Si	Abierta
SIGFOX	900 Mhz (USA) 868 Mhz (UE)	20 millas	100 kbps	Estrella	Si	Privada
LTE-M1	1.4 Mhz	20 millas	1Mbps	Estrella	No	Abierto
CAT-M2	~ 1 Ghz	20 millas	100 kbps	estrella	No	Abierto
GSM	Desde 700 Mhz hasta 2.5 Ghz	20 millas	200 kbps (3G) 10 Mbps (4G)	Estrella	No	Abierto

Tabla 1 Tecnologías de largo alcance para IOT. Fuente: (Silva, Coello)

2.3 Red de Sensores Inalámbricos

Se define a una red de sensores inalámbricos como “una red auto-configurable formada por un pequeño número de nodos sensores o también llamado motes, que se comunican entres si usando señales de radio, con la finalidad de monitorear y entender el mundo físico”. (Zennaro, 2012)

Componentes de una red de sensores inalámbricos.

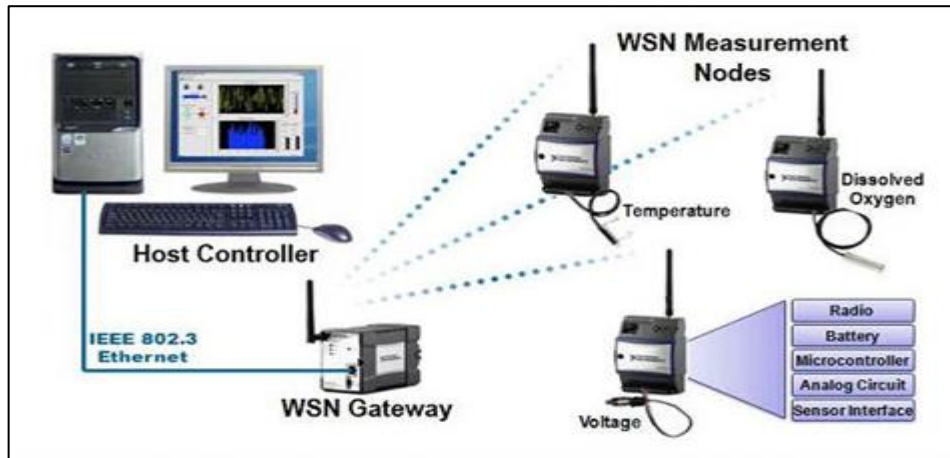


Figura 2 Componentes de una WSN. Fuente: (Instruments N. , 2019)

Una red WSN es un recurso de gran utilidad ya que tiene una topología dinámica, son de bajo consumo energético y poseen tolerancia a errores, esto los hacen uno de los métodos más utilizados para el envío y recepción de información, son usados en una gran variedad de campos de aplicación como:

- Monitoreo ambiental
- Domótica
- Medicina
- Monitoreo industrial

Por lo general una red WSN está compuesta generalmente por dos partes, el gateway y los nodos sensores, en donde los nodos cuentan con una serie de componentes como la radio, microcontrolador, batería y sensores.

Cuando se diseña la red se deben elegir las mejores opciones para que tenga un mejor rendimiento y eficiencia, ya que como se dijo antes estos deben tener un bajo consumo energético, generalmente la batería de uno de estos nodos tiene una duración de aproximadamente 3 años, pero gracias al constante envío de datos puede que la batería no rinda y consuma mucha energía.

Una manera de controlar esto es trabajar en la programación de los nodos ya que cada nodo debe ser capaz de encenderse para enviar datos y posteriormente apagarse, para así poder conservar energía.

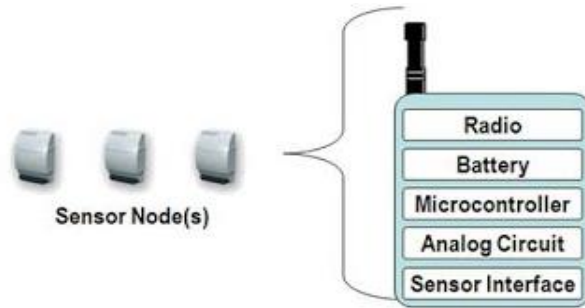


Figura 3 componentes de un Nodo Sensor. Fuente: (blogspot.com, 2012)

2.3.1 Tecnología LoRa

La tecnología Lora del acrónimo (Long Range Modulación) es una nueva tecnología inalámbrica implementada hacia el internet de las cosas “es una tecnología de radiofrecuencia que permite comunicaciones a larga distancia en el rango de kilómetros. La tecnología de radio lora permite una comunicación inalámbrica con un bajo consumo energético y con un largo alcance” (Bertoleti, 2019). Cuando se está trabajando con lora debemos tener en cuenta que existen bandas dedicadas según la región en la que cada persona se encuentre.

Las bandas de frecuencias destinadas a lora según su localización:

Región	Banda (Fr)
Estados unidos y América	De 902 a 928 MHz
Europa	De 863 a 870 MHz
China (Asia)	De 779 a 787 MHz

Tabla 2 bandas de frecuencias LoRa. Fuente: (Silva, Coello)

2.3.2 Modulación LoRa

Cuando hablamos de modulación digital de sistemas inalámbricos podemos mencionar a la modulación FSK, principalmente por el bajo consumo de potencia. Sin embargo, la modulación loRa está basada en la modulación CSS (Chirp Spread Spectrum), esta modulación fue diseñada para mantener un bajo consumo de datos, pero manteniendo un gran rango de cobertura, esta modulación solía ser usado para comunicaciones espaciales y militares gracias a su larga distancia de comunicaciones y robustez a la interferencia. (Solera, 2018)

2.3.3 Formato De La Trama Física De LoRa

En LoRaWan cuando enviamos un paquete este paquete contiene dos tipos de mensajes un mensaje up-link y otro mensaje down-link, los encargados de enviar los mensajes up-link son los nodos estos son los encargados de enviar mensajes a la red gracias a un gateway este servirá como intermediario.

Todos los mensajes LoRaWan presentan la siguiente estructura:

Preamble	PHDR	PHDR_CRC	PHYPayload	CRC
----------	------	----------	------------	-----

Tabla 3 Formato de trama física, Fuente :(Silva, Coello)

El preámbulo permite establecer parámetros para cada uno de los mensajes, el preámbulo posee una longitud de 8 bytes, en el preámbulo se detallará información como el consumo energético, tiempo de instante para la transmisión, estos son datos importantes para la implementación de una red IOT.

El Payload posee una longitud máxima de 255 bytes y posee una capa de acceso al medio LoRaWan, también posee una cabecera MAC Payload, esta capa Mac especificara el tipo de mensaje y el formato de la trama dentro de la capa LoRaWan con la que ha sido codificado o programada.

Existen varios tipos de mensaje Mac las cuales serán descritos en la siguiente tabla.

TIPOS DE MENSAJE MAC

Tipo	Descripción
000	Join request
001	Join accept
010	Unconfirmed data up
011	Unconfirmed data down
100	Confirmed data up
101	Confirmed data down
110	RFU
111	Proprietary

Tabla 4 Tipo de mensajes MAC, Fuente :(Silva, Coello)

2.4 LoRaWAN

La especificación LoRaWAN™ es un protocolo de red de área amplia de baja potencia (LPWA) diseñado para conectar de forma inalámbrica "cosas" operadas por batería a Internet en redes regionales, nacionales o globales. El protocolo incluye funciones que admiten comunicaciones bidireccionales de bajo costo, móviles y seguras para Internet de las cosas (IoT), máquina a máquina (M2M), ciudad inteligente y aplicaciones industriales. (Bustan, 2019)

2.4.1 Protocolo LoRaWAN

LoRaWan es un protocolo de red que funciona en la capa de enlace y para su comunicación utiliza la tecnología LoRa para la comunicación de los diferentes dispositivos, una de las características de este protocolo es que es bidireccional lo cual permite una comunicación de extremo a extremo.

El protocolo LoRaWan se compone de dos partes esenciales las cuales son los gateway y los nodos.

Los nodos en una red LoRaWAN son bidireccionales y estos son los encargados de mandar información cuando tengan los datos o información lista, por otro lado el gateway es el encargado de recopilar toda la información recibida por los nodos finales al recibir la información, el gateway convierte la información en bits para así poder enviar a través de redes IP tradicionales, la puerta de enlace siempre estará conectada a la red para así poder enviar datos a una red privada o a la nube.

Application				
LoRaWAN MAC				
Mac options				
Class A	Class B		Class C	
LoRa Modulation				
Regional ISM band				
EU 868	EU 433	US 915	AS 430	----

Figura 4 Capas del Protocolo LoRaWan. Fuente: (Medium, 2017)

La comunicación entre gateway y nodos se diferenciarán según su canal de frecuencia en que trabaje y la velocidad de datos, LoRaWan posee una serie de características según la región en que uno se encuentre por ejemplo los canales a usar, la potencia de transmisión y los canales de subida o de bajada no será igual en Europa que en América.

Se podrá ver algunas especificaciones en la siguiente figura:

	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867 - 869 MHz	902 - 928 MHz	470 - 510MHz	920 - 925 MHz	920 - 925 MHz	865 - 867 MHz
Channels	10	64 + 8 + 8	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee	In definition by Technical Committee
Channel BW Up	125/250KHz	125/500KHz				
Channel BW Dn	125KHz	500KHz				
Tx Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
Tx Power Dn	+14dBm	+27 dBm				
SF Up	7 - 12	7 - 10				
Data rate	250bps - 50Kbps	980bps - 21,9Kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	15dB	157dB				

Figura 5 Características de trabajo de LoRaWan. Fuente: (IOT, 2019)

2.4.2 Topología LoRaWAN

Una topología de red es un mapa físico de la red en la cual se mostrarán el esquema y su forma de intercambio de datos, podemos implementar redes según el esquema que deseemos para lo cual hay varias configuraciones como la topología tipo bus, estrella, anillo, malla, árbol entre otras configuraciones.

Generalmente la tecnología LoRaWan implementa una topología estrella debido a su forma de conexión, otro tipo de topología para una red LoRaWAN no sería tan efectiva y se gastarían más recursos, los gateway son dispositivos que funcionan como un puente entre los nodos finales y la red central. Los gateway estarán conectados a la red

ataves de conexiones IP mientras que los nodos por lo general poseen una conexión inalámbrica para la comunicación con uno de más gateway. (Perez, 2018)

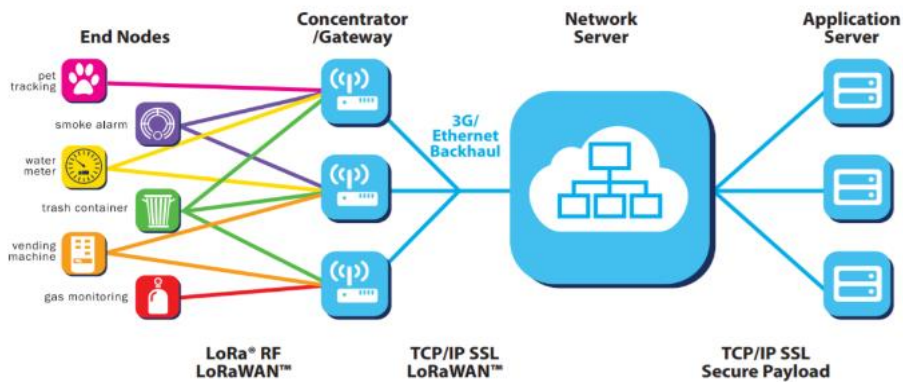


Figura 6 Arquitectura LoRaWAN. Fuente: (Perez, 2018)

2.4.3 Clases de Dispositivos LoRaWAN

LoRaWAN en su infraestructura posee tres tipos de dispositivos, estos dispositivos se clasifican en clase A, B Y C. Por lo general todos los dispositivos LoRaWAN poseen en su infraestructura la clase A siendo esta una base esencial, mientras que las clases B y C son complementos de la clase A.

Clase A:

Los dispositivos clase A son nodos finales bidireccionales por las cuales la transmisión de enlace ascendente de cada dispositivo final viene precedida por dos ventanas de recepción de enlace descendente cortas. Este tipo de comunicación tiene una pequeña variación de tiempo esta variación está basada en el protocolo de tipo ALOHA.

La clase A suele ser usados para dispositivos finales que no tengan un alto consumo de potencia o también para dispositivos que solo requieran un enlace descendente hacia el servidor. (LoRaAlliance, 2015)

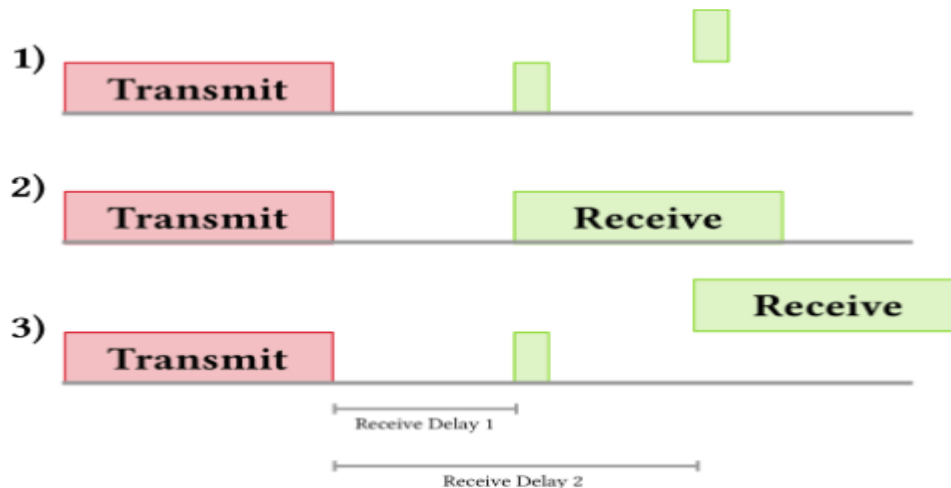


Figura 7 Dispositivo final Clase A. Fuente: (TheThingsNetwork, 2019)

Clase B:

Los dispositivos de clase B al igual que la clase A son bidireccionales pero la diferencia es que esta posee ranuras de recepción, la clase B posee las mismas ventanas de recepción que el de la clase A, pero se pueden programar más ventanas de recepción con el fin de que el dispositivo final pueda acceder a su ventana de recepción. Una de las ventajas de esta clase es que el servidor puede diferenciar cuando el dispositivo final está receptando información.

Clase C:

La clase c al igual que la clase B y C son dispositivos bidireccionales, pero esta posee una cantidad de ranuras mayor, la clase C posee ventanas de recepción que reciben información continuamente y solo se cierran mientras transmitan. Al estar receptando continuamente tiene una desventaja ya que el consumo de energía es mucho mayor en comparación que las otras clases, pero presenta una latencia más baja durante la comunicación entre el dispositivo final y el servidor.

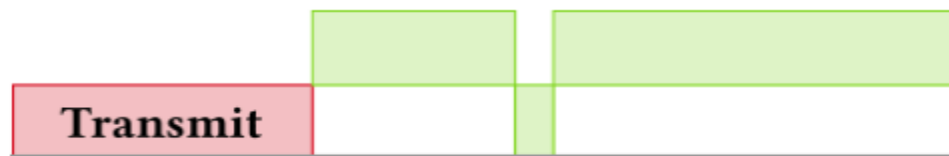


Figura 8 Dispositivo final Clase C. Fuente: (TheThingsNetwork, 2019)

2.4.4 Seguridad LoRaWAN

LoRaWan posee un cifrado AES (Advanced Encryption Standard) de 128 bits cabe recalcar que LoRaWan posee un cifrado y descifrado en cada trama enviada gracias a esto podemos asegurarnos que el nodo final y el usuario tienen acceso a los datos. La seguridad LoRaWan posee 2 capas de seguridad estas son: network sesión key y application sesión key estas dos capas funcionan independientemente una de la otra. La capa Network Session Key tiene la función de la conexión del dispositivo final o nodo con la red y por otra parte la capa Application Session Key tiene la función de que el usuario u operador tenga acceso a los datos. (DigiKey, 2017)

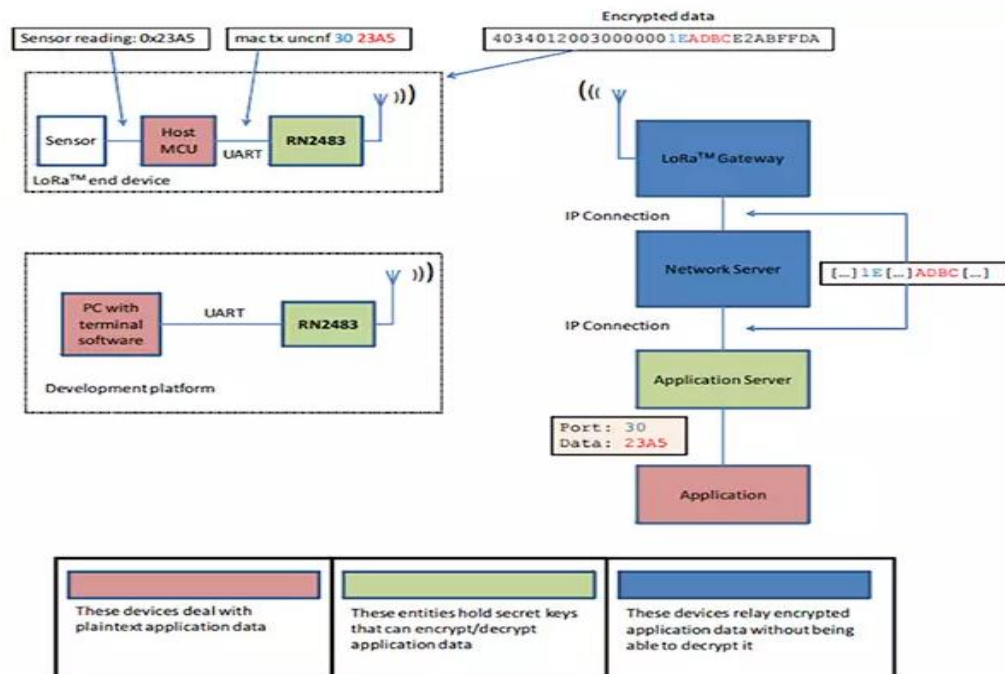


Figura 9 Flujo de datos y seguridad LoRaWAN. Fuente: (DigiKey, 2017)

2.5 Red LPWAN

Una red LPWAN es una red amplia de baja potencia de ahí su nombre (Low Power Wide Área Network), estas redes están diseñadas para aplicaciones o dispositivos que posean una interacción M2M.

El propósito de una red LPWAN no es solo el de proporcionar altas velocidades de transmisión de datos sino el de trabajar en una capa baja de potencia para el funcionamiento de dispositivos como sensores o actuadores. La baja potencia y la baja velocidad de bits son las características del que los diferencian de una red WAN normal en la cual está orientada a conexión de redes más grandes como usuarios o empresas,

pero con una mayor velocidad de transmisión de datos pero usando una cantidad mayor de potencia. La tasa de datos una red LPWAN varía entre los 0,3 y los 0,5 Kbits/seg por cada canal que vaya a usarse. (OpenSource, 2019)

	SIGFOX	LoRa	clean slate LoT	NB LTE-M Rel. 13 lte	LTE-M Rel. 12/13 lte	EC-GSM Rel. 13 GSM	5G (targets) 5G
Range (outdoor)	<13km	<11km	<15km	<15km	<11km	<15km	<15km
MCL	160 dB	157 dB	164 dB	164 dB	156 dB	164 dB	164 dB
Spectrum	Unlicensed	Unlicensed	Licensed	Licensed	Licensed	Licensed	Licensed
Bandwidth	900MHz 100Hz	900MHz <500kHz	7-900MHz 200kHz or dedicated	7-900MHz 200kHz or shared	7-900MHz 1.4 MHz or shared	8-900MHz 2.4 MHz or shared	7-900MHz shared
Data rate	<100bps	<10 kbps	<50kbps	<150kbps	<1 Mbps	10kbps	<1 Mbps
Battery life	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years
Availability	Today	Today	2016	2016	2016	2016	beyond 2020

Figura 10 Conectividad IOT LPWAN. Fuente: (Aprendiendoarduino, 2018)

En la figura 10 se muestra una tabla comparativa de diferentes tecnologías que pueden trabajar en una red LPWAN, en esta tabla se puede ver el rango, tasa de bits, duración de batería y su disponibilidad.

2.6 Tecnología Arduino

Se puede definir a Arduino como “una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla”. (Arduino, 2019) Arduino se ha vuelto uno de las principales plataformas para el desarrollo de programas esto se debe a varios factores entre ellos es que es libre y extensible, esto permite trabajar con programas anteriores y poder hacer modificaciones según el trabajo requerido, su lenguaje de programación está basado en programación C++ el cual da una gran apertura a las demás personas sin ser necesario que sean programadores y por último posee un bajo costo de adquisición.

2.6.1 Arduino Uno

La placa Arduino uno es placa electrónica de las muchas que posee Arduino y es considerada una de sus mejores placas ya que es robusta es la más usada a nivel de proyectos y a nivel mundial.

Se utilizó este microcontrolador por su versatilidad y compatibilidad con muchos sensores, incluidos los que utilizaremos en el proyecto, esta placa posee varias características como la de procesar señales analógicas y señales digitales, además la forma de interconexión con otras placas como por ejemplo la comunicación con el módulo ESP32 mediante una comunicación serial.

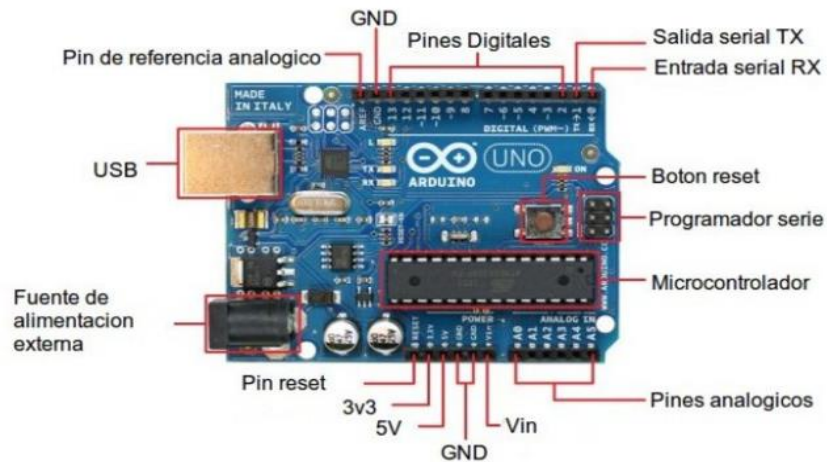


Figura 11 Redistribución de pines de la tarjeta Arduino Uno. Fuente: (Infootec, 2019)

2.6.2 Características Técnicas de Arduino Uno

Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V

Digital pines I/O	14 (de los cuales 6 proporcionan una salida PWM)
PWM digital pines I/O	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por Pin I/O	20mA
Corriente DC para Pin 3.3V	60mA
Memoria flash el gestor de	32KB ATmega328P de los que 0,5 KB son de arranque.
SRAM	2KB ATmega328P
EEPROM	1KB ATmega328P
Velocidad de reloj	16 MHz
Longitud	68,6 mm
Ancho	53,4 mm
Peso	25 g

Tabla 5 Características del Arduino Uno. Fuente: (Infootec, 2019)

2.7 Modulo LoRa ESP32

La tarjeta esp32 lora es una variación de la ya conocida esp32 con la cual comparten varias características como la conectividad wifi y conectividad bluetooth, la única diferencia es que la versión a usar posee un chip integrado SX1278 este chip posee una conectividad lora.

Una de las ventajas de este módulo es su bajo costo en el mercado, posee una pantalla oled de 0.96 pulgadas esto en parte es algo beneficioso ya que permite visualizar los datos que se están transmitiendo sin la necesidad de usar un monitor serial como por ejemplo el IDE de Arduino en el cual tendríamos que conectarnos para ver si se está realizando el envío de paquetes.

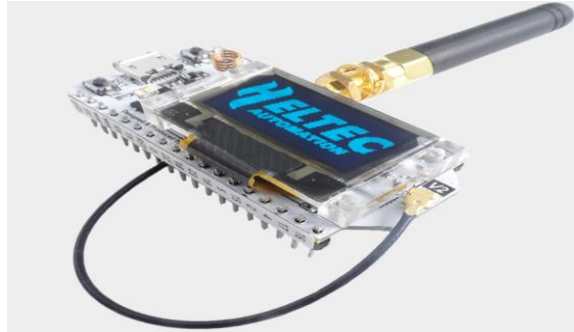


Figura 12 Modulo esp32 Lora Fuente: (Heltec, Heltec Automation, 2020)

El módulo esp32 lora posee varios rangos de frecuencia en las cuales podríamos trabajar estas frecuencias son 433/815/915 MHz. La frecuencia de trabajo puede depender del uso que se le vaya a dar.

En la figura a continuación se puede apreciar todos los pines que presenta este módulo, debemos tener en cuenta que hay pines que son específicos como los pines que están señalados con una flecha estos son pines exclusivos tanto para la pantalla oled y para la comunicación Lora y no podrá ser usados para otros propósitos ya que podrían causar un problema en el envío de información y en peor de los casos podríamos quemar el módulo.

En este proyecto solo se procederá a utilizar 2 de sus 24 pines, estos pines serán los pines de transmisión y recepción, estos serán fundamentales para la comunicación con la placa Arduino.

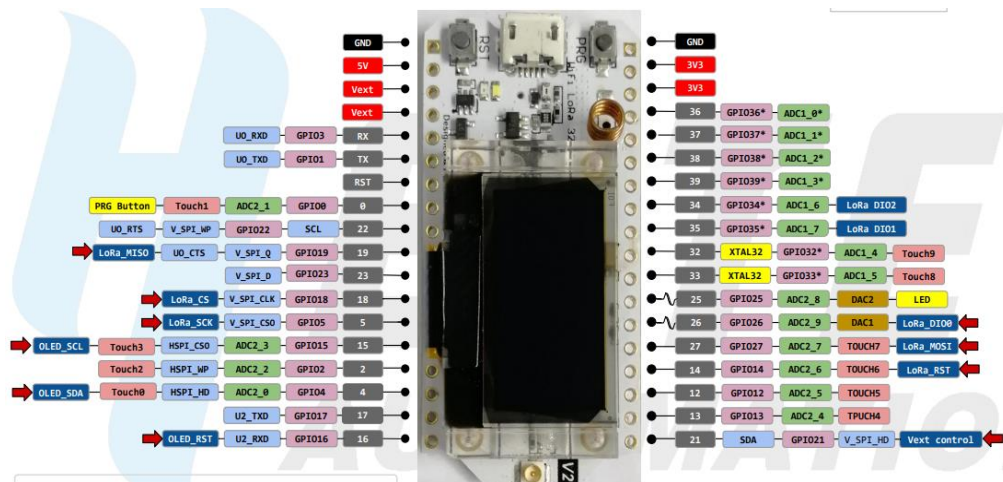


Figura 13 Diagrama esquemático de los pines fuente: (Heltec, heltec.org, 2020)

Como se puede ver en figura 13 presenta etiquetas de diversos colores esto es para poder hacer una conexión y programación más eficaz como por ejemplo la señal negra indica los pines conexiones a tierra, etiqueta roja pines de alimentación, etiqueta

amarilla pines de control, etiqueta verde pines analógicos, etiqueta celeste pines para conexión serial SPI e I2C.

Características

Recurso	Parámetros		
Chip principal	ESP32 (240Mhz Tensilica Lx6 dual-Core)		
Comunicación Wireless	WIFI	BLUETOOTH	LORA
	802.11 b/g/n	Bluetooth v2.4 BR/EDR	LoRaWan
Chip LoRa	SX1276/SX1278		
Área LoRaWan		frecuencia	
	LF	EU433	
		CN470	
	HF	IN865	
		EU869	
		US915	
		AU915	
		KR920	
		AS923	
Potencia Salida	19 dB + 1 dB		
Memoria flash	8MB (64M-bits) SPI Flash		
Memoria RAM	520 Kb internal SRAM		
Dimensiones	51 x 25.5 x10.6 mm		
Tamaño de display	0.96 inch OLED		
Temperatura de trabajo	-40°C -- 80°C		

Tabla 6 Características técnicas de un esp32 Lora Fuente: (Silva, Coello)

2.8 Batería

Una batería es un dispositivo el cual permite almacenar electricidad con el fin de proveer energía eléctrica a un dispositivo en este caso será para la alimentación del nodo o dispositivo final. Una batería consiste en varias celdas electroquímicas que convierten la energía química en electricidad. (BRIDGEWATER, 2009)

En el mercado actual existe una gran variedad de tipos de baterías las cuales se las describirá a continuación:

2.8.1 Tipos de batería

Tipo de Batería	Característica	Ventajas	Desventajas
Plomo-Acido	Son pilas recargables que poseen dos electrodos de plomo y es la más común en el mercado	<ul style="list-style-type: none">• Bajo costo• Fácil fabricación	<ul style="list-style-type: none">• Altamente contaminante• Baja densidad de energía
Níquel-hierro (Ni-Fe)	Llamada ferroníquel, el cátodo está compuesto por hileras de tubos de acero niquelado	<ul style="list-style-type: none">• Fácil fabricación• No contamina• Larga vida útil• Bajo costo	<ul style="list-style-type: none">• Su eficiencia no supera el 65%
Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	Usa un ánodo de cadmio y un cátodo de hidróxido de níquel.	<ul style="list-style-type: none">• Funciona a altas temperaturas• Admite sobre descargas	<ul style="list-style-type: none">• Baja densidad de energía
Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH)	Usa un ánodo con hidróxido de níquel y un cátodo de hidruro metálico.	<ul style="list-style-type: none">• Bajo efecto de memoria• Ofrece mayor densidad de energía	<ul style="list-style-type: none">• Alta tasa de auto descarga• Bajo rendimiento en frio extremo

Ion de Litio (Li-ion)	Baterías más empleadas en electrónica, posee un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto.	<ul style="list-style-type: none"> • Baja tasa de auto descarga • Bajo efecto de memoria • Posee altas densidades de capacidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápida degradación • No admite bien los cambios de temperatura
Polímero de Litio (LiPo)	Es una variación de la batería Li-ion pero presenta una mejor densidad de energía.	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor densidad de carga • Mejor tasa de descarga 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se descarga por debajo de los 3v queda casi inutilizable

Tabla 7 Tipos de baterías comerciales. Fuente: (Silva, Coello)

Al trabajar en una red WSN en este caso una red LoRaWan es importante la correcta selección de la batería en base a sus características estas características son en base a su capacidad y la eficiencia ya que los sensores estarán conectados a esta batería y una de las principales características de estas redes es el bajo consumo energético y la duración de la batería.

A continuación, se presentará una tabla mostrando datos técnicos de los tipos de baterías como por ejemplo el tiempo de carga, descarga datos fundamentales para la selección de una batería adecuada.

Batería	Relación Energía/peso	Carga nominal	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto descarga por mes (%)
Plomo	30-50 wh/kg	2 v	1000	8-16 h	5 %
Ni-Fe	30-55 wh/kg	1.2 v	+10.000	4-8 h	10 %
Ni-Cd	48-80 wh/kg	1.25 v	500	10-14 h	30 %
Ni-MH	60-120 wh/kg	1.25 v	1000	2.4 h	20 %
Li-ion	110-160 wh/kg	3.7 v	4000	2-4 h	25 %
Li-Po	100-130 wh/kg	3.7 v	5000	1-1.5 h	10 %

Tabla 8 Comparación entre baterías. Fuente: (Vergara, 2018)

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología De Investigación

La metodología de la investigación permite desarrollar los conocimientos adquiridos y plasmarlos de una forma más metódica y ordenada, es posible llevar a cabo una serie de técnicas que amplíen el método de la lógica inductiva al formular, profundizar e implementar proyectos.

La implementación de este sistema de monitoreo para la calidad del agua se enfoca en base a las necesidades de las personas que trabajan en la planta purificadora y envasadora de Agua Siria que mostrará las propiedades del agua, las cuales son: temperatura, Ph, Turbidez y TDS con la finalidad de recoger datos y ver la calidad del agua sin la necesidad de hacer pruebas externas, esto se complementa mediante una app creada en app inventor para realizar el monitoreo de la calidad del agua, este sistema podrá ser creado gracias a los conocimientos recopilados durante el tiempo de estudio en la Universidad Politécnica Salesiana.

La implementación de este proyecto de titulación se realizó en la planta purificadora y envasadora de agua Siria, ubicada en la ciudad de Vinces, Provincia de Los Ríos, diseñando un sistema que permita monitorear los parámetros de la calidad del agua a través de sensores controlados por una tarjeta Arduino, esta tarjeta solo se encarga de la lectura y censar los datos obtenidos por los sensores, adicionalmente este transmitirá los datos al módulo ESP32 LoRa mediante conexión serial.

El nodo sensor es el equipo que estará en la planta de agua, este comprende los sensores, la placa Arduino y el módulo ESP32 LoRa, el nodo sensor será el encargado de transmitir los datos que arrojen los sensores hacia el gateway.

El gateway se encontrará conectado a la red wifi y será energizado mediante un cargador portátil, este es el encargado de transmitir los datos recibidos del nodo emisor hacia la base de datos, página web y la aplicación móvil.

Al realizar la ejecución de la aplicación esta permite monitorear las características del agua. Estas características serán mostradas a través de gráficas en tiempo real, las cuales se irán mostrando cada 3 minutos.

3.1.1 Técnica De Investigación

La técnica de investigación se refiere al conjunto de herramientas, procedimientos e instrumentos utilizados para poder obtener, conservar y analizar información.

3.1.2 Técnica De Campo

Mediante las técnicas de campo se procedió a realizar pruebas con el sistema implementado de monitoreo de la calidad de agua en el reservorio del agua purificada, aplicación móvil, todo esto mediante la tecnología LoRaWAN.

3.2 Procedimiento Del Proyecto

- Investigación del proyecto
- Diseño del prototipo
- Finalización y pruebas finales

3.2.1 Investigación Del Proyecto

Para este proyecto se procedió con la investigación de los diferentes materiales a utilizar como por ejemplo:

- Sensor de temperatura.
- Sensor de PH.
- Sensor de TDS/Turbidez.
- Microcontrolador Arduino Uno.
- Módulo ESP 32 LoRa.

Es importante poder trabajar con equipos actualizados ya que versiones desactualizadas podrían no aportar características importantes en el desarrollo.

3.2.2 Diseño Del Prototipo

Una vez adquirido los equipos necesarios para la implementación del proyecto, se procedió a realizar pruebas mediante el funcionamiento de los módulos y sensores. Se procedió a realizar las programaciones correspondientes para cada módulo en este caso bajo el lenguaje C++ a cada uno de los módulos a emplear. Mientras que la programación de la página web fue desarrollada en nuxt, con base de programación JavaScript.

3.2.3 Finalización y Pruebas Finales

Para terminar este proyecto se procedió con el armado total de los módulos que se usan para brindar la comunicación y monitoreo deseado.

Se diseñó un módulo transmisor para el envío de los datos obtenidos por los sensores, también se implementó un módulo receptor que se encargará de recibir estos datos y enviarlos al servidor.

Se realizan pruebas finales para verificar que no haya ningún error en su funcionamiento.

Diseño e Implementación

3.3 Diagrama De Comunicación LoRaWAN

Una red LoRaWAN es un área de comunicación con un rango de área amplia y bajo consumo energético, estas son características básicas de este tipo de comunicaciones. En esta parte se trata de establecer la comunicación Lora para así poder realizar la monitorización de los datos, también se explica el diagrama de comunicaciones de la red LoRaWAN que va estar conformada por los nodos finales que son los que recopilaran la información de los sensores, la comunicación entre el nodo final y el gateway será mediante modulación LoRa, una vez que el gateway recopile la información este se encargara de enviar los datos a la base de datos mediante conexión wifi, posteriormente los datos serán graficados en una página web y en una aplicación final desarrollada en app inventor.

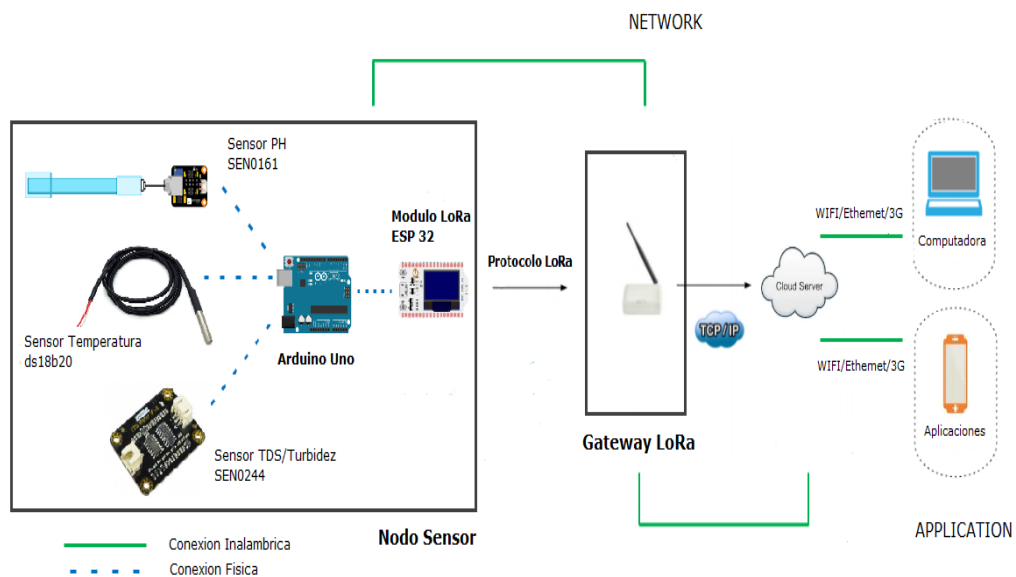


Figura 14 Diagrama de comunicación LoRaWAN, Fuente:(Silva, Coello)

3.3.1 Factor De Dispersión

Cuando tratamos con un protocolo con técnicas de espectro ensanchado debemos considerar el factor de dispersión, este es un factor físico en la cual se relaciona el ancho de banda de la señal en relación a la velocidad de transmisión.

SF	Tasa de bits equivalente	Sensibilidad
	(Kb/s)	(dBm)
12	0.293	-137
11	0.537	-134,5
10	0.976	-132
9	1.757	-129
8	3.125	-126
7	5.468	-123

Tabla 9: Relación entre SF y la sensibilidad, Fuente: (Quimbita, 2018)

Algo importante que aclarar es que el factor de dispersión depende mucho de la separación entre el dispositivo emisor y el gateway si la separación es muy grande el factor de dispersión será mayor y la velocidad de transmisión será menor en cambio cuando la separación entre el nodo y el gateway es menor el factor de dispersión será menor pero la velocidad de transmisión será mayor.

3.3.2 Conexión LoRa Punto A Punto

Una parte esencial en este trabajo es poder establecer la conexión punto a punto, esto será entre los dos dispositivos Lora, uno actúa como emisor, este se encargará de mandar la información recopilada por los sensores mientras que el otro dispositivo actuará como gateway y subirá los datos al internet.

Antes de manipular las tarjetas debemos comprender un poco su funcionamiento y probar que funciona correctamente para esto podríamos recurrir al diagrama de pines de la tarjeta ya que como se dijo anteriormente cada pin tiene una función específica, también debemos instalar todas las librerías necesarias para trabajar con este tipo de módulos ya que sin estas librerías los códigos no funcionarían y por ende la conexión punto a punto no funcionaría y no podríamos enviar información.

Ya una vez cargados los respectivos programas tanto para el dispositivo emisor y receptor, se puede apreciar en la pantalla los datos enviados, en esta parte solo se ha procedido a comprobar si el enlace punto a punto es correcto y que no se ha procedido

aún al envío de datos de los sensores ya que solo se trataba de demostrar el enlace de comunicaciones.

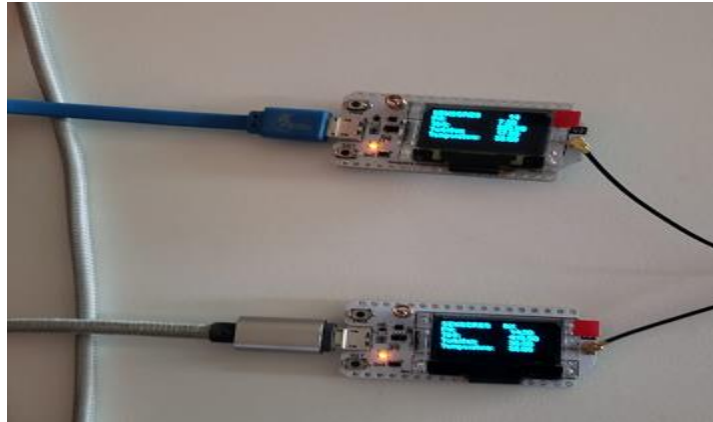


Figura 15 Módulos LoRa Emisor/Receptor, Fuente:(Silva, Coello)

3.4 Sensores

Dentro del diseño para el monitoreo de la calidad del agua se describen los siguientes componentes, necesarios para la obtención de estos valores.

3.4.1 Sensor De Temperatura

Para este proyecto se usa el sensor de temperatura DS18B20 el cual brinda información acerca de la temperatura en el agua, una de las razones para la elección de este sensor es su precisión de datos y está diseñada para ser sumergida en agua.



Figura 16 Sensor de temperatura DS18B20, Fuente :(Silva, Coello)

Este sensor tiene la funcionalidad de comunicarse a través de una señal digital y se comunica con su controlador a través del protocolo 1-wire esto quiere decir que la transmisión y recepción de datos se dará mediante un solo cable el cual será el pin data ya que este sensor cuenta con 3 terminales los cuales son: Vcc, GND y Data.

El dispositivo controlador al cual se conecta el sensor será la placa Arduino Uno R3 y podrá ser conectado en cualquier pin digital del controlador, como se dijo anteriormente el sensor posee una conexión digital esto quiere decir que no se ve afectado por degradaciones y mantiene una conexión estable incluso a través de grandes distancias.

3.4.1.1 Características del sensor

Voltaje de referencia	3.0 – 5.5 v
Precisión	± 0.5 Precisión de -10 °C a + 85 °C
Rango de funcionamiento	-55 a 125 ° C (-67 ° F a + 257 ° F)
Resolución seleccionable	9 a 12 bits
Interfaz 1-wire	Requiere solo un pin digital
Sensores múltiples	Puede compartir un solo pin
Tiempo de consulta	Menor a 750 ms
Interfaz de cables	3 cables de interfaz Rojo: alimentación Vcc Negro: conexión a tierra GND Verde: Datos
Diámetro del cable	4 mm (0,16 ")
Longitud	90 cm (35.43 ")

Tabla 10 Características de sensor DS18B20. Fuente: (DFROBOT, 2020)

3.4.1.2 Esquema de conexión

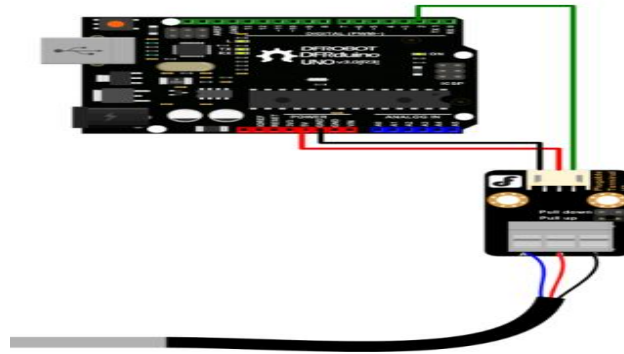


Figura 17 Conexión del sensor DS18B20. Fuente: (DFROBOT, 2020)

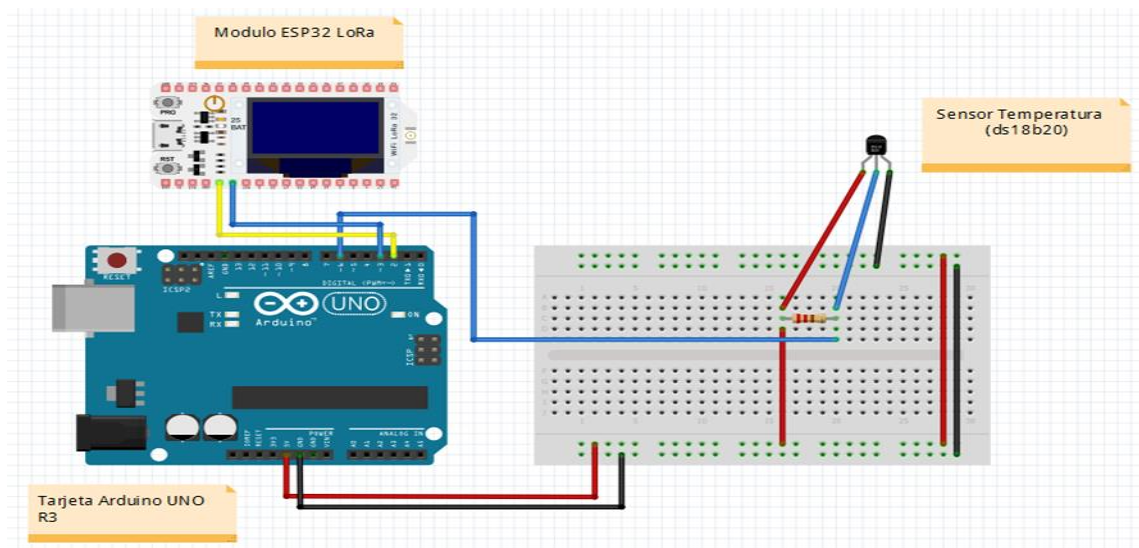


Figura 18 Conexión del Arduino, ESP32 LoRa y sensor de temperatura, Fuente:(Silva, Coello)

En la figura se puede apreciar la conexión entre la placa Arduino y el módulo ESP32 Lora esta conexión se la establece mediante una comunicación serie esto se hace para que el módulo LoRa obtenga y transmita los datos del sensor. Para que este sensor pueda trabajar correctamente es necesario colocar una resistencia de 4.7 k entre los pines Data y Vcc.

3.4.1.3 Diagrama de flujo

En este diagrama de flujo se obtendrán los datos de la variable de temperatura. La conexión con el microcontrolador Arduino R3 será mediante los pines digitales, estos se encargan de la recepción de datos, activando el sensor DS18B20. Al detectar la señal digital este comenzara la registrar los datos de temperatura.

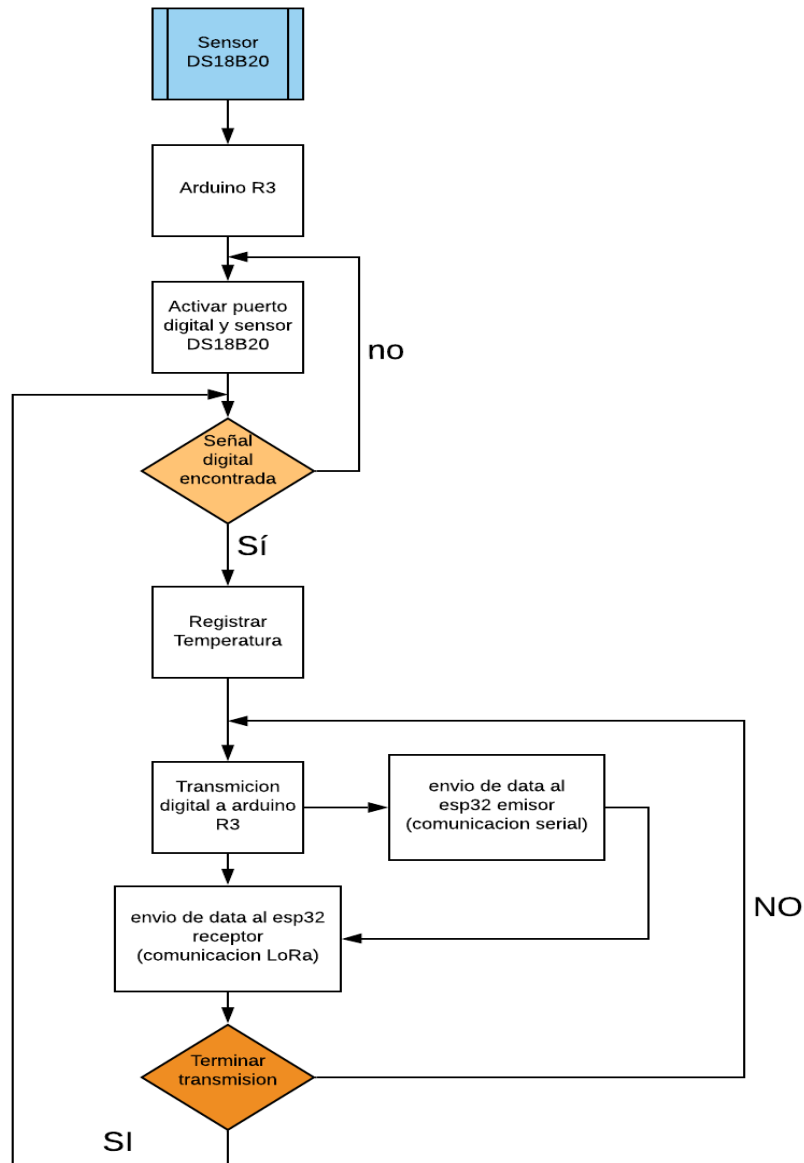


Figura 19 Diagrama de flujo de Temperatura. Fuente: (Silva, Coello)

3.4.2 Sensor de solidos disueltos (TDS)

El sensor de TDS (“total de solidos disueltos”) es un sensor que indica la cantidad de materia soluble que está disuelta en el agua, esto quiere decir que entre más alto el valor del TDS el agua podrá diluir mayor cantidad de materiales y consecuencia de eso el agua será menos limpia. Este sensor refleja que tan limpia está el agua y se puede aplicar al agua doméstica, hipódromos y otros campos más para determinar la calidad del agua.

El sensor entrega valores de TDS obtenidos de una muestra y su unidad de medida son la ppm (“partículas por millón”).

Este sensor posee una salida analógica el cual se procederá a conectar con la placa Arduino R3.

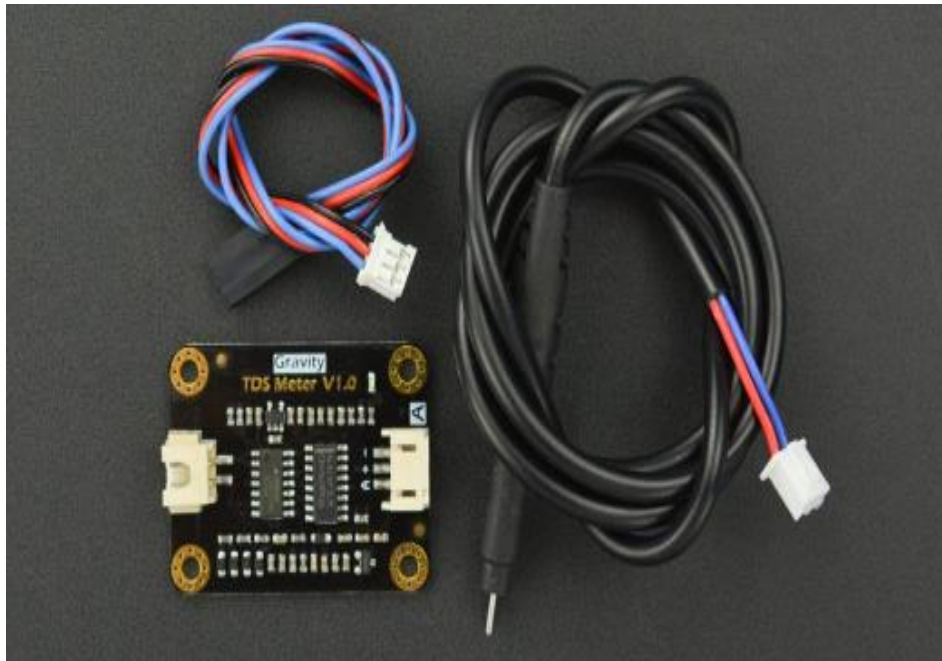


Figura 20 Sensor de TDS Fuente: (Silva, Coello)

Este sensor suele ser muy utilizado en el análisis para mediciones sobre la calidad del agua ya que podríamos reflejar la limpieza del agua, junto con el pH representan un factor químico del agua.

3.4.2.1 Características del sensor

Tablero transmisor	
Voltaje de entrada	3.3 ~ 5.5V
Voltaje de salida	0 ~ 2.3V
Corriente de funcionamiento	3 ~ 6mA
Rango de medición	0 ~ 1000ppm
Precisión de medición	± 10% FS (25 °C)
Tamaño del modulo	42 * 32 mm
Interfaz del modulo	PH2.0-3P
Interfaz del electrodo	XH2.54-2P
Sonda TDS	
Numero de agujas	Posee 2 agujas terminales
Longitud de la sonda	83 cm
Interfaz de conexión	XH2.54-2P
Resistencia de la sonda	Resistente al agua

Tabla 11 Características del sensor TDS. Fuente: (DFROBOT-TDS, 2020)

3.4.2.2 Diagrama de conexión

El sensor TDS consta de tres pines de conexión rojo representa el voltaje Vcc, el cable negro la conexión a tierra (GND) y el pin de datos este será conectado a un puerto analógico de la tarjeta Arduino uno R3. Mientras que la conexión Arduino, esp32 será mediante comunicación serial.

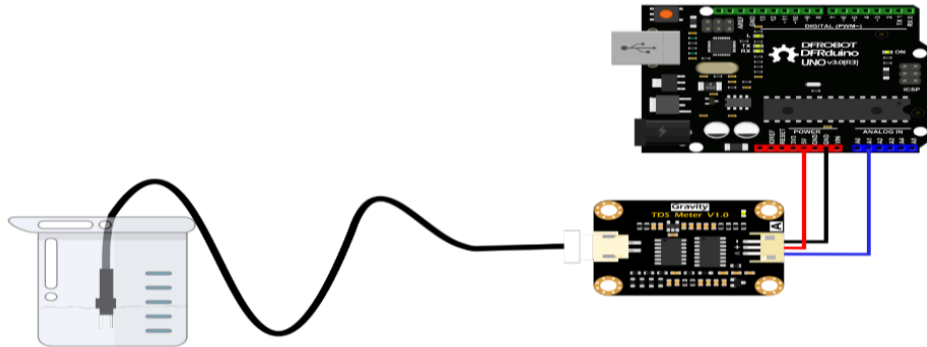


Figura 21 Conexión del sensor TDS. Fuente: (DFROBOT-TDS, 2020)

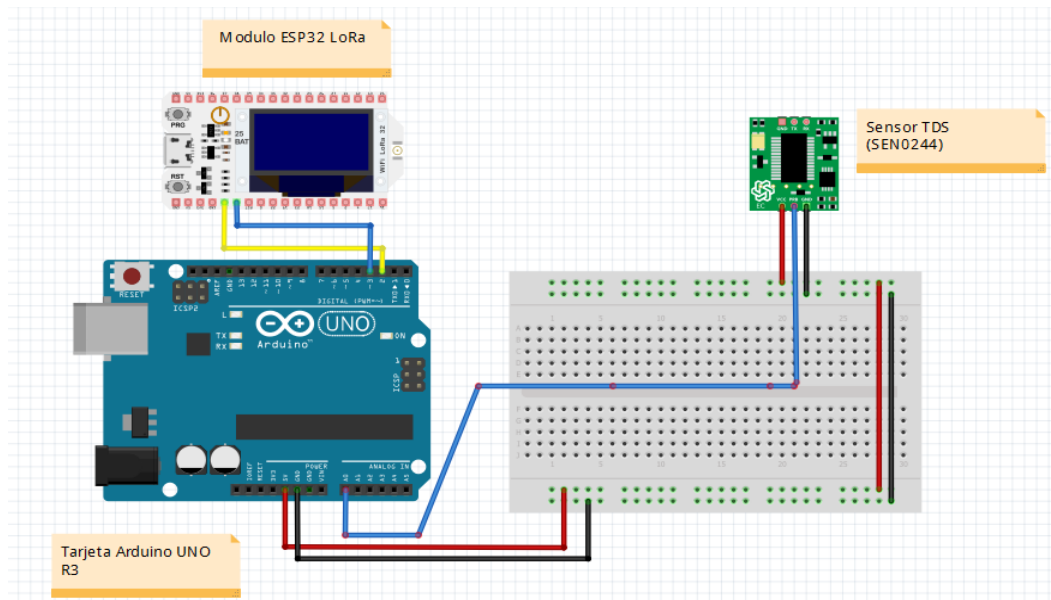


Figura 22 Conexión Arduino, ESP32 LoRa y sensor TDS, Fuente:(Silva, Coello)

3.4.2.3 Diagrama De Flujo

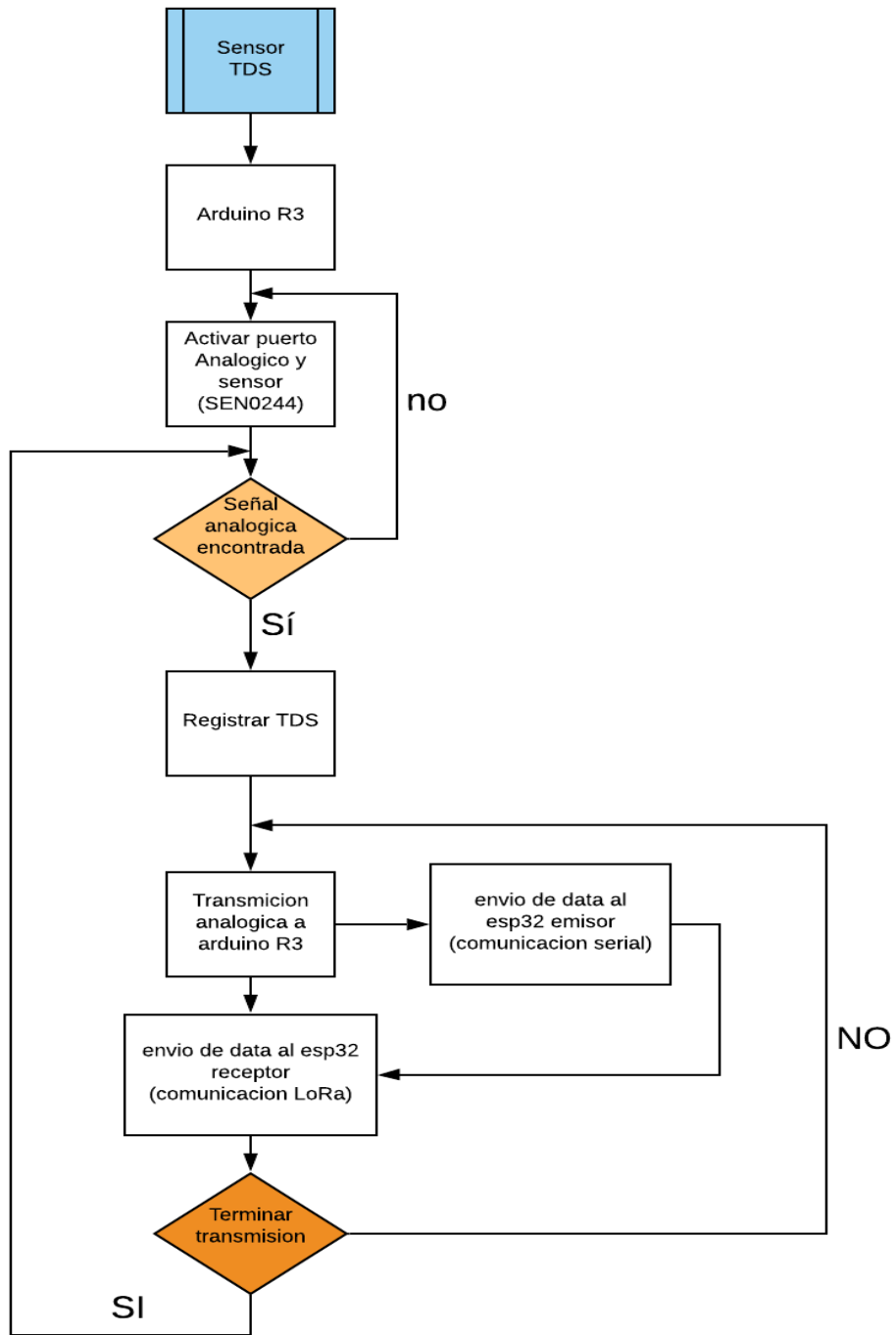


Figura 23 Diagrama de flujo TDS. Fuente: (Silva, Coello)

3.4.3 Sensor de Potencial De Hidrogeno (PH)

El sensor de potencial de hidrógeno permite identificar los valores de la alcalinidad o acides que presenta una solución acuosa, el sensor que se eligió posee un bajo costo, pero posee una gran precisión de siendo esta de 0.1 PH, gracias a esto se puede construir un sistema con grandes rangos de precisión y con un bajo costo.



Figura 24 Sensor de PH. Fuente:(Silva, Coello)

El sensor se compone de dos partes las cuales son el sensor de PH con su respectivo cable de conexión y la placa de conversión esta placa se conecta con la tarjeta Arduino esta tarjeta se encarga de procesar los datos obtenidos por el sensor de PH.

Esta placa posee varios pines de conexión, pero para este proyecto solo se usan tres los cuales son, pin para conexión a tierra, pin de alimentación de 5v y el pin que receptorá el dato será el pin Po que será por donde obtendremos los valores del PH medidos en el agua.

3.4.3.1 Características Del Sensor

Voltaje de funcionamiento	5v Dc
Corriente de funcionamiento	5-10 mA
Rango de medición de PH	0-14
Rango detección de temperatura	0°-60° (C)
Tiempo de respuesta	≤ 5S Tiempo de estabilidad: ≤ 60S
Tipo de salida	Señal analógica
Consumo de energía	≤ 0.5W
Temperatura de trabajo	-10° ~ 50° centigrade
Humedad de trabajo	95 %
Vida útil	3 años
Tamaño	42 mm x 32 mm x 20 mm
Peso	25 g

Tabla 12 Características del sensor de PH. Fuente: (DiyMore, 2020)

3.4.3.2 Diagrama de conexión

La placa de conexión la cual se conecta directamente con la placa Arduino posee un conector BNC el cual se conecta con la sonda PH y también posee 6 pines de conexiones los cuales son:

To: temperatura de salida

Do: salida de 3.3 v

Po: salida analógica de PH

GND: conexión a tierra

GND: conexión a tierra

VCC: voltaje de alimentación 5v Dc

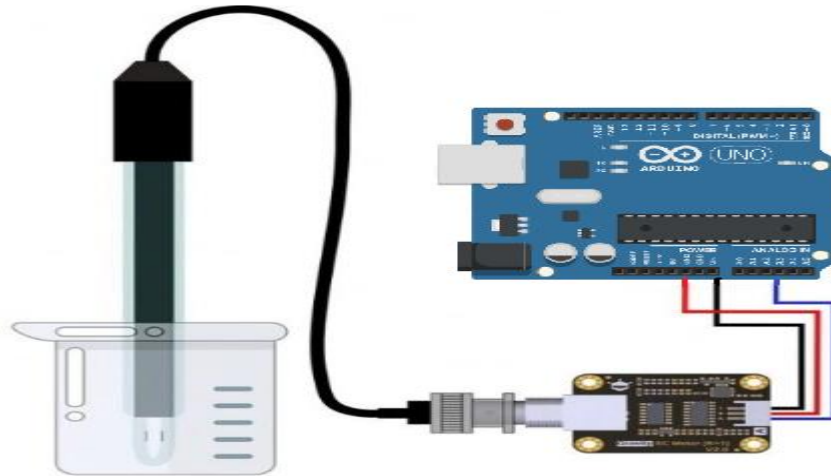


Figura 25 Conexión del sensor de PH. Fuente:(Silva, Coello)

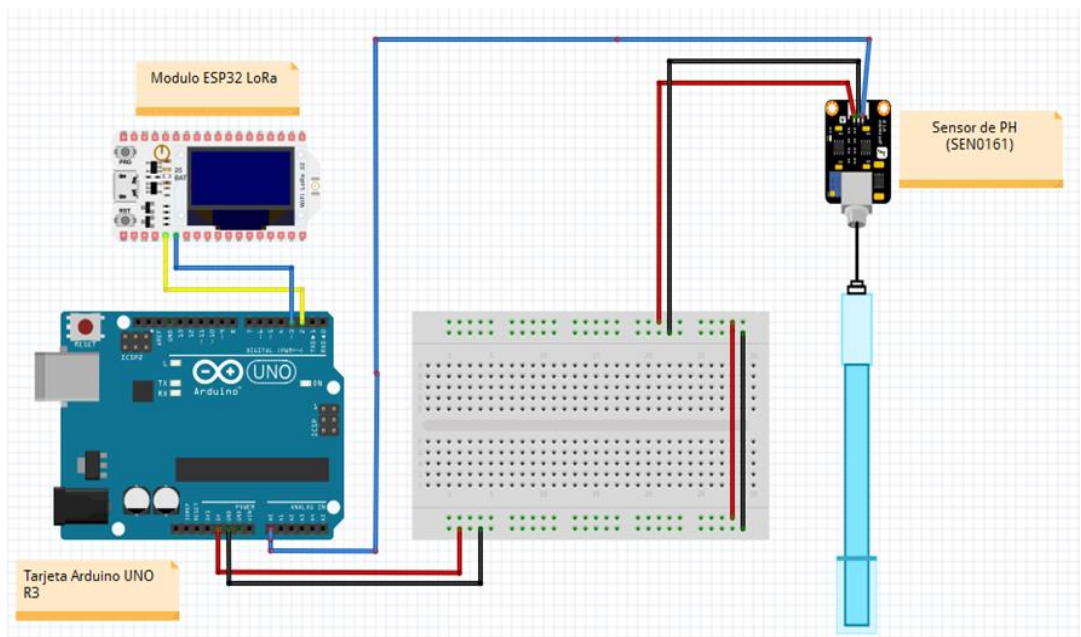


Figura 26 Conexión Arduino, ESP32 LoRa y sensor de PH, Fuente:(Silva, Coello)

3.4.3.3 Diagrama de flujo

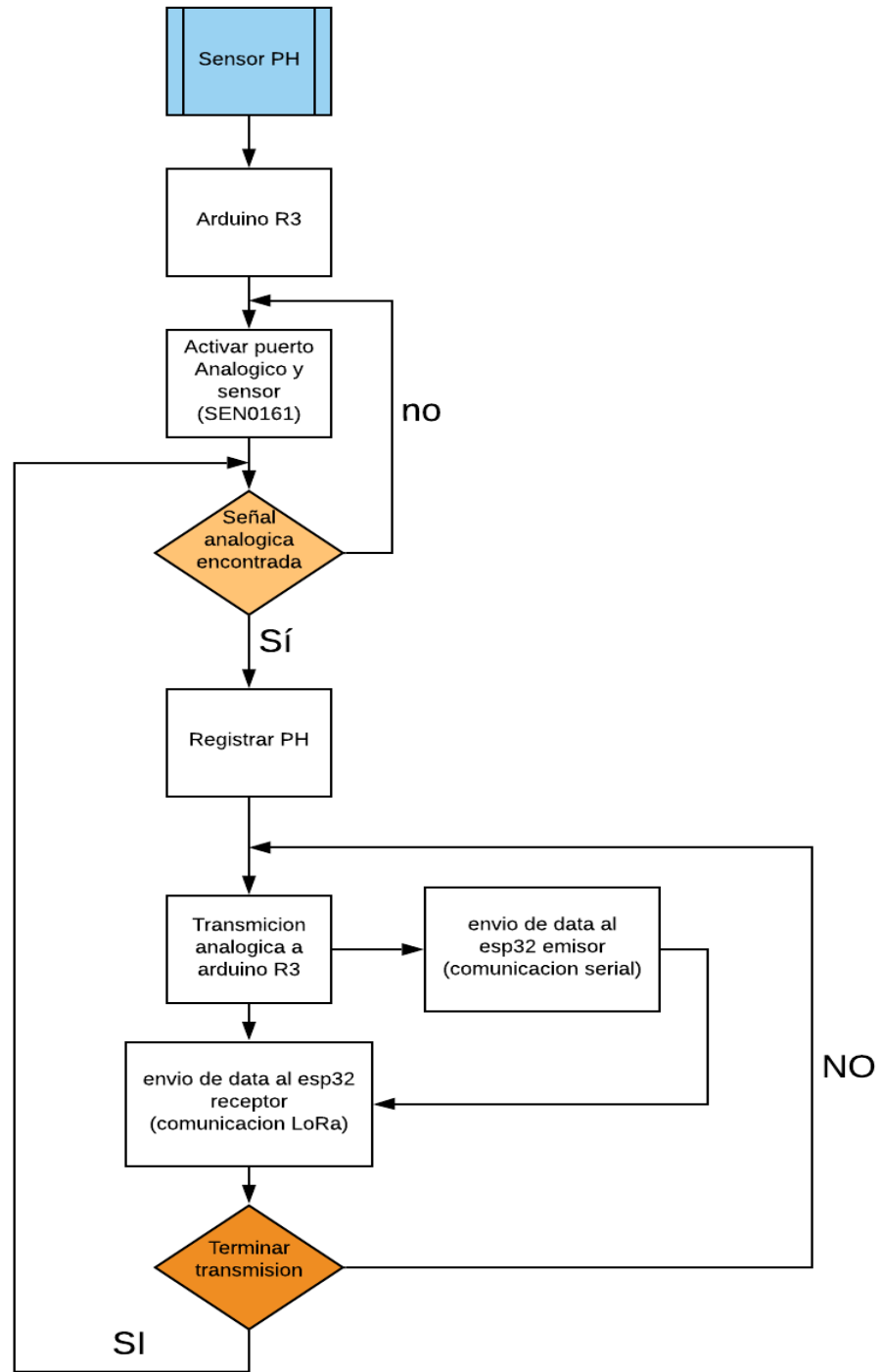


Figura 27 Diagrama de flujo del sensor de PH. Fuente:(Silva, Coello)

3.4.4 Sensor de turbidez

Para monitorear la opacidad del agua se usa el mismo sensor de TDS, este sensor utiliza la luz para detectar partículas suspendidas en el agua, estas partículas suspendidas hacen que el agua presente una tonalidad más oscura.

La turbidez es un parámetro muy importante para el monitoreo de la calidad del agua. Para la obtención de los datos se procederá a tomar los mismos datos del sensor TDS.

Con el sensor de turbidez se pueden obtener valores de sólidos disueltos en el agua y su medida es en ppm (partículas por millón), una vez que obtenemos los valores en ppm los podemos convertir a NTU (unidades de turbidez nefelométricas) estas NTU serían los datos de la turbidez del agua, Para hacer esta conversión la basamos en la relación ppm/ntu en la cual $1\text{ppm} = 0.13\text{ntu}$.

“Según la OMS (Organización mundial de la salud) el rango de la turbidez para que el agua sea apta para el consumo humano no debe sobrepasar los 5 NTU”

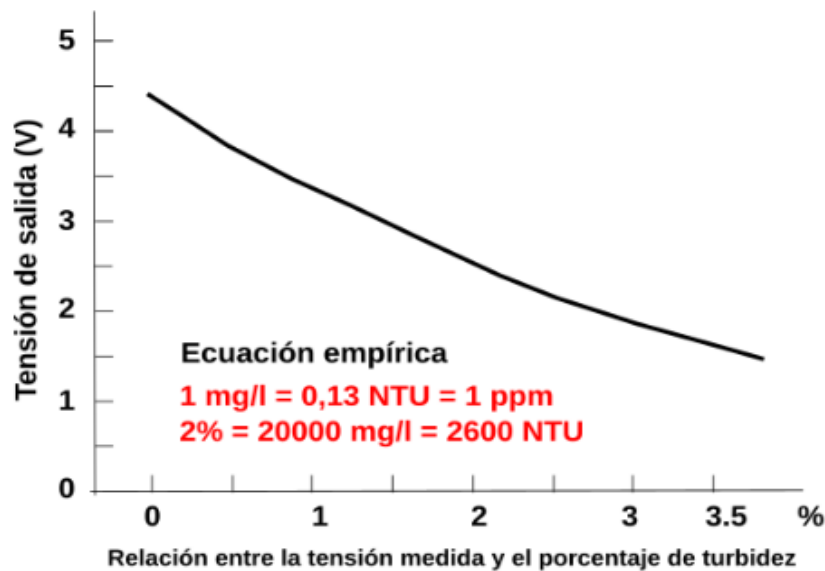


Figura 28 Grafico Relación ppm/ntu Fuente: (Github, 2020)

3.4.4.1 Diagrama De Flujo

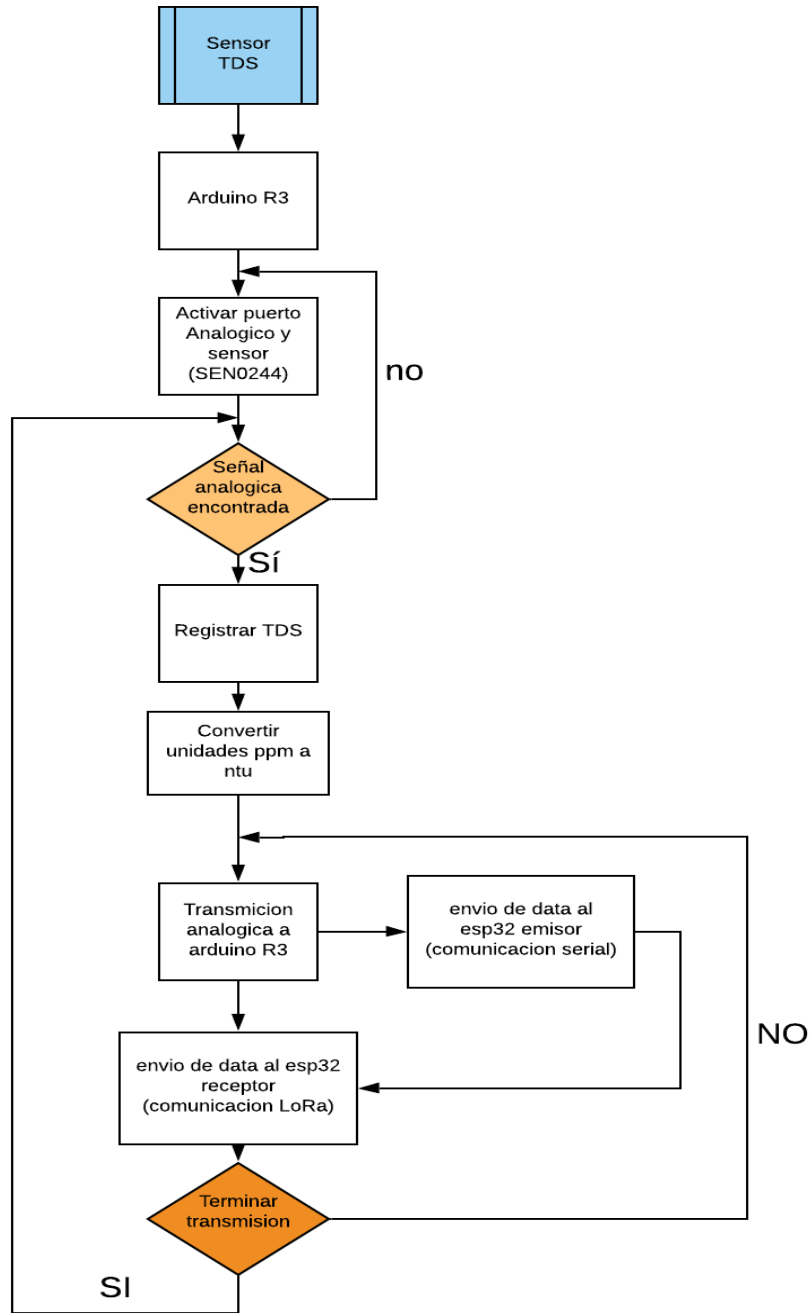


Figura 29 Diagrama de flujo para la turbidez Fuente:(Silva, Coello)

3.5 Diseño De Los Nodos

Una vez que ya se tiene la correcta configuración de los sensores se proceden a ensamblarlos en un mismo dispositivo este será el nodo sensor.

3.5.2 Nodo Sensor

Para la creación del nodo sensor dispondremos de varios dispositivos ya que este se encarga de censar y transmitir la información al gateway, el nodo sensor está compuesto de los sensores de temperatura, TDS/Turbidez y PH además cuenta con una placa Arduino Uno, un módulo Lora ESP32 y la batería.

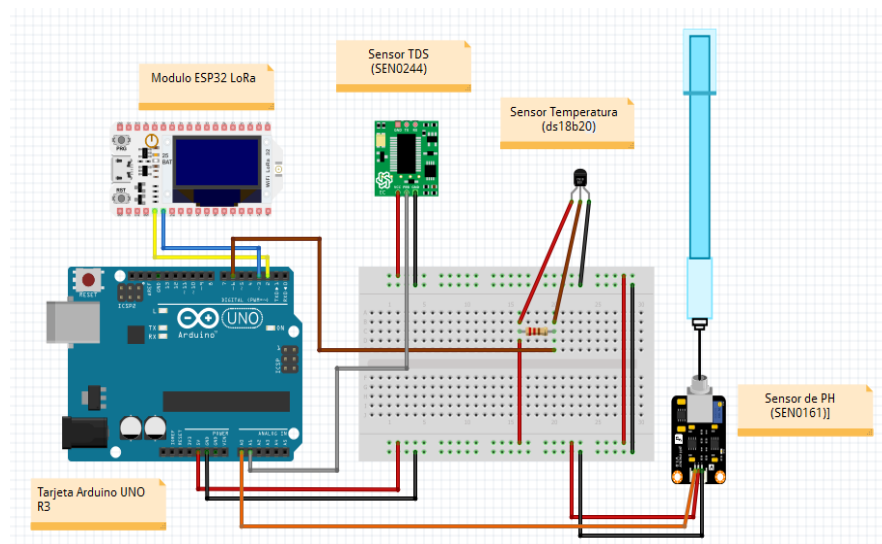


Figura 30 Diagrama de conexión de los componentes, Fuente :(Silva, Coello)

Una vez ya teniendo las conexiones de todos los equipos a utilizar se procedió a utilizar una caja de material policarbonato resistente al agua y además cuenta con protección IP55, grandes características para este trabajo ya que protegerá a los equipos alojados en su interior tanto del polvo y principalmente del agua.



Figura 31 Nodo Sensor, Fuente:(Silva, Coello)

3.5.1 Nodo Gateway

Este nodo solo consta de dos elementos, estos son el módulo LoRa esp32 y la batería, este gateway no esta conectado directamente a la computadora este se conecta a la red que estemos usando, configurando el ssid y la contraseña de la red wi-fi. Esto puede ser algo beneficioso ya que se puede conectar el gateway en otro lugar con acceso a internet, solo cambiaríamos estos parámetros para tener conectividad.

El gateway será el encargado de recibir la información del nodo sensor y posteriormente del envío de datos al Cloud Firestore y por ende a la aplicación.

El envío de la información emitida por el nodo sensor será recibida por el gateway y este envía la información hacia la base de datos esto lo hacemos mediante archivos json, estos archivos poseen un formato de texto para almacenar datos estructurados que se usa para el intercambio de información en sistemas de comunicación y también posee un destacado funcionamiento con iteraciones de páginas web.

```
Receptor Arduino 1.8.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Receptor $ images.h
#include <ArduinoJson.hpp>
#include <ArduinoJson.h>
#include "heltec.h"
#include "images.h"

const char* ssid = "Internet CNTI";
const char* password = "53063064";
```

Figura 32 Configuración para conexión WIFI, Fuente :(Silva, Coello)

3.6 Interfaces Para Mostrar Resultados En Tiempo Real

Para mostrar los resultados en tiempo real precisamos de dos opciones, una será una base de datos llamada firestore, en ella almacenamos todos los datos recibidos del gateway, por otra parte, también se dispone de una página web en donde podremos ver las gráficas según los valores arrojados por los sensores.

3.6.1 Base De Datos

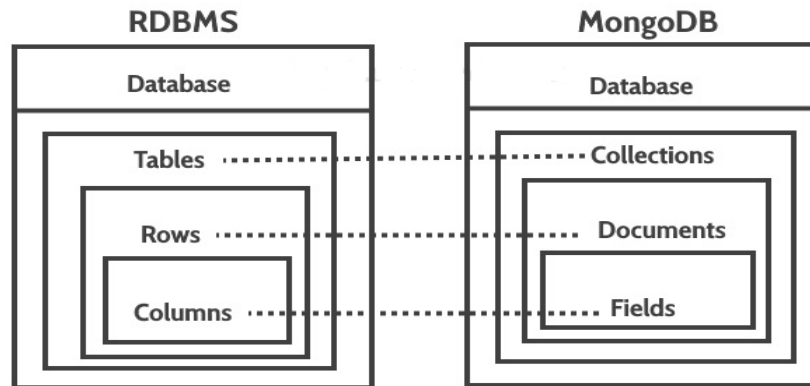


Figura 33 Relación de campos entre base de datos, Fuente: (Singh, 2020)

Una base de datos es un programa que sirve para guardar, observar y recopilar información, esto se lo realiza en pro de una mejor organización de los datos.

Como se explicó anteriormente ya se realizó la conexión entre los dos equipos LoRa, estos envían y receptan información, pero no se están almacenando en ninguna parte, para esto se procedió a crear una base de datos.

Cloud Firestore es una base de datos NoSQL “not only SQL” esta base de datos trabaja con datos en tiempo real y además está orientada hacia los documentos, esto quiere decir que en su estructura no posee tablas ni columnas, sino más bien que guardan los datos en documentos y el grupo de documentos se llama colección.

En la figura 16 se puede apreciar cada campo que posee este tipo de base de datos, en el proyecto cada valor obtenido será un dato distinto esto quiere decir que tenemos 4 diferentes documentos y en cada documento se albergan los datos emitidos por los

sensores, estos 4 documentos se agruparan en un solo campo a esto se le llama colección, la colección se llamara “sensores”.

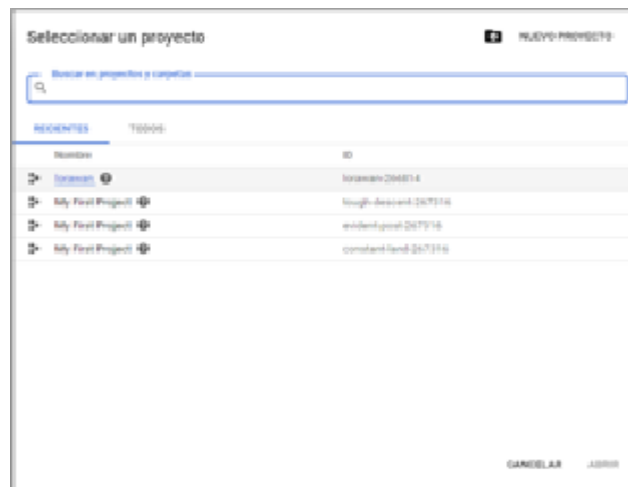


Figura 34 Colección “Sensores” en Firestore, Fuente: (Silva, Coello)

Como se mencionó anteriormente firestore es una base de datos orientada a objetos gracias a esto podemos consultar y almacenar documentos tipo json ya que podemos intercambiar información, en este caso el intercambio de información entre el gateway y la base de datos.

3.6.2 Implementación De La Página Web

Antes de la implementación se procedió a crear una página web, la creación de la página web se creó con software nuxt.js.

Nuxt.js es un marco de aplicación para la creación de aplicativos webs, una de las ventajas es que es de código abierto. Esta página web proporciona alojamiento gratuito y además de la integración con la base de datos. El desarrollo grafico de la página se la realizo con lenguaje JavaScript. Para representar los datos en gráficos se utilizó el comando charts esto permite representar los datos obtenidos de la base de datos.

Mediante el índice se programa y configura todo lo relacionado a las gráficas de los datos y propiedades de la misma, en esta carpeta se pueden cambiar otros parámetros como la recarga automática de la página cada 10 segundos.

Mediante el layout se configura todo lo relacionado al texto presente en la página web.

3.7 Creación De la APP Android Para el Monitoreo

Una vez creada y configurada toda la página web, la creación de esta aplicación fue muy sencilla ya que se pudo convertir esta página web en una aplicación móvil, para

esto se usó App Inventor el cual también es un software libre, en este software podremos crear, editar y publicar aplicaciones a partir de una página web. Para poder utilizar la aplicación tendremos que descargar la aplicación mediante el escaneo de un código QR, este código será proporcionado por app inventor, este código tendrá una duración de 2h pasado este tiempo cambiara de código para la descarga. Una vez instalada la aplicación podremos visualizar los datos obtenidos por los sensores.



Figura 35 Visualización de la aplicación móvil, Fuente:(Silva, Coello)

PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Pruebas De Funcionamiento

Para evidenciar el funcionamiento del equipo se procederá a realizar pruebas en la planta mediante dos etapas:

- Obtención de datos
- Visualización

4.1.1 Obtención De Datos

En esta etapa se observa la obtención de datos emitidos por los sensores de temperatura, PH, TDS Y Turbidez, para corroborar que las mediciones de los sensores sean las adecuadas se puede verificar a través de monitor serie.

En este punto se realizó la calibración de los sensores, para su posterior uso en los tanques de agua cruda y procesada.

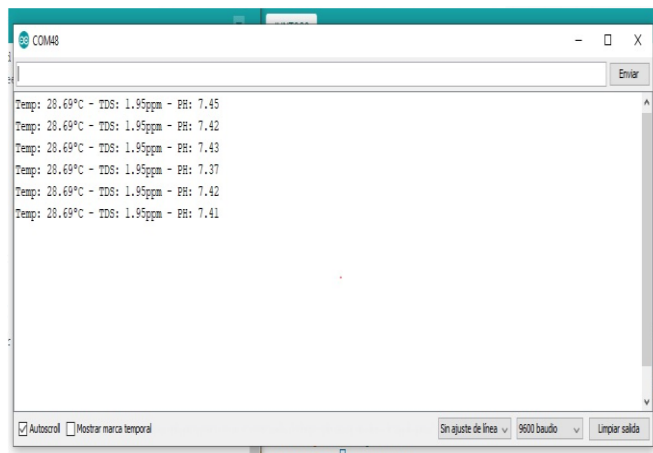


Figura 36 Obtención de datos de los sensores, Fuente: (Silva, Coello)

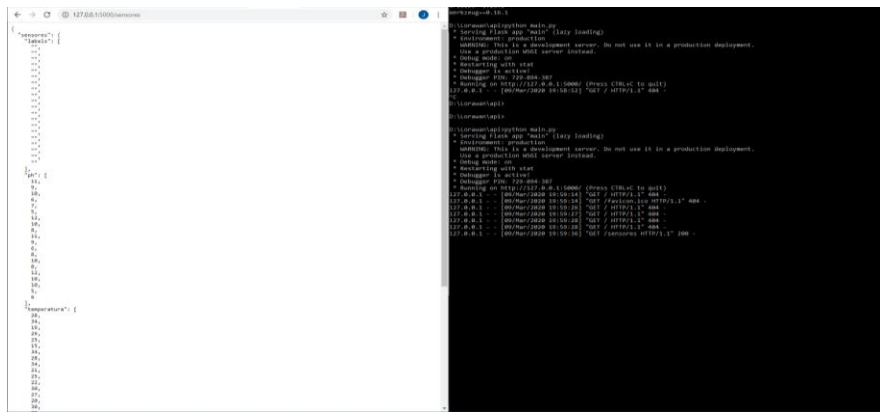


Figura 37 Obtención de los datos en la base de datos, Fuente: (Silva, Coello)

En la figura 36 se puede apreciar los valores obtenidos en el monitor serie, los datos correspondientes a cada sensor, con esto podemos comprobar que los datos se están enviando y recibiendo normalmente, mientras que en la figura 37 se pueden observar que estos valores están llegando a la dirección de la base de datos Firestore.

4.1.2 Visualización De Datos

En esta parte se visualizan los valores medidos por los sensores y enviados a través del nodo receptor, en este caso la visualización de los datos será a través de una página web, base de datos y la de una aplicación Android.

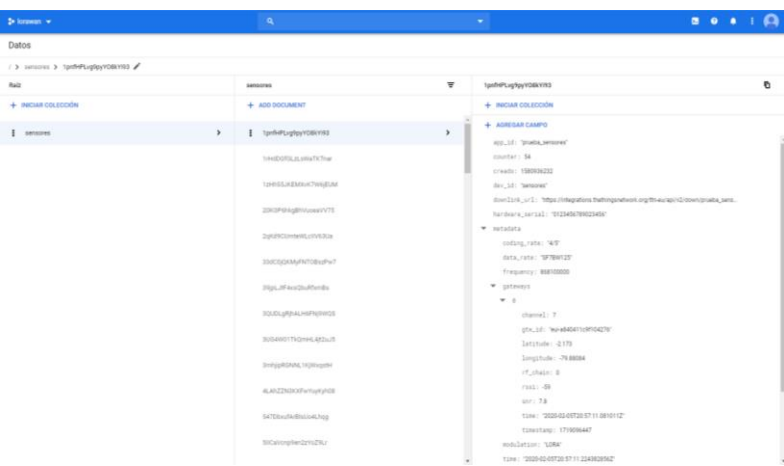


Figura 38 Datos en la base de datos, Fuente: (Silva, Coello)



Figura 39 Visualización de datos en aplicación móvil, Fuente: (Silva, Coello)

Los datos que se muestran en la página web y aplicativo son las mismas, cada gráfica presentar un valor correspondiente y muestra la hora en la cual el sensor tome los valores.

4.2 Pruebas y Análisis De Resultados

En esta parte se procede a realizar las pruebas en la planta, con el objetivo de comprobar y analizar el correcto funcionamiento del equipo.

Las pruebas del sistema se realizaron en dos escenarios:

- Tanque de 10000 litros de agua cruda.
- Tanque de 10000 litros agua procesada.

Se eligieron estos escenarios para demostrar las variaciones que hay después de que el agua sea procesada y filtrada para que esta sea apta para el consumo humano.

Las pruebas realizadas han mostrado la calidad de agua de la planta, mostrando valores idóneos para el consumo y mejorando el proceso de producción en la planta ya que el personal ya no tuvo que detener la producción para verificar si los parámetros del agua eran aptos, estos valores fueron observados mediante una aplicación desarrollada en Android.

Estas pruebas permiten comparar métodos de toma de muestras, por un lado la pérdida de tiempo al realizarla con medidores convencionales ya sea TDS y Ph y por ende la para de la producción, las muestras realizadas con el prototipo permiten enviar datos de los sensores en tiempo real, los datos se actualizan cada 3 minutos sin necesidad de la para de producción, ya que la persona encargada podrá visualizar los datos ya sea en su dispositivo móvil o en el dispositivo receptor ESP 32.

4.2.1 Simulación Radio Mobile

Después que ya se ha implementado todo el sistema y se ha comprobado el correcto funcionamiento del mismo, se ha procedido a realizar las respectivas pruebas, aparte de esto, se procedió a realizar una simulación mediante Radio Mobile el cual es un software para analizar radio enlaces y determinar si el enlace a realizar es factible o no.

Para realizar las pruebas de campo se escogió el punto de la planta envasadora de agua localizada en Vines, provincia de Los Ríos, el nodo transmisor estará ubicado en la planta envasadora de agua, mientras que el gateway estará ubicado en una casa con acceso a internet.



Figura 40 Distancia Nodo Emisor-Gateway, Fuente: (Silva, Coello)

Radio Mobile es un programa de simulación de radio enlace gratuito en el cual podremos simular una red de corta o larga distancia, en ella se pueden realizar cálculos y así poder determinar si un enlace es factible o no.

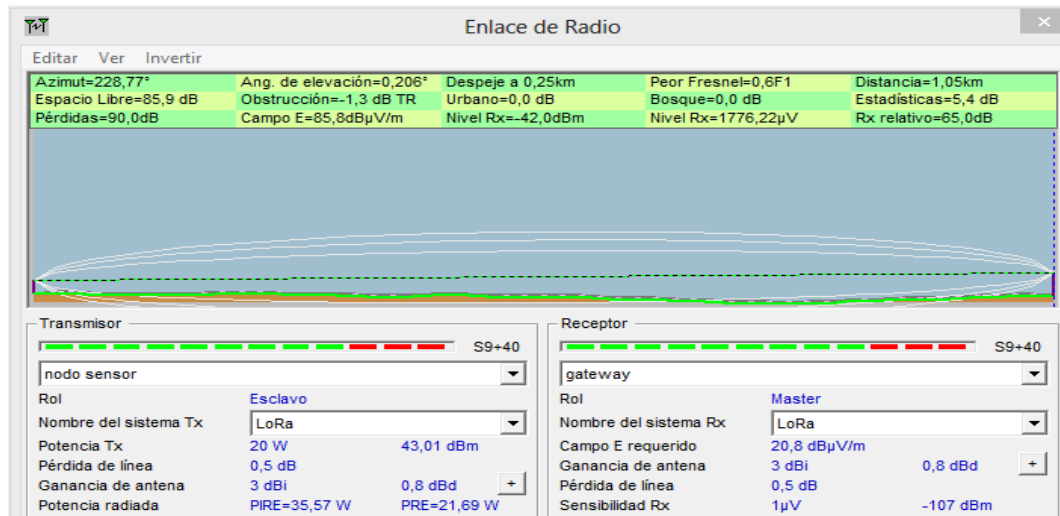


Figura 41 Resultados de la simulación, Fuente: (Silva, Coello)

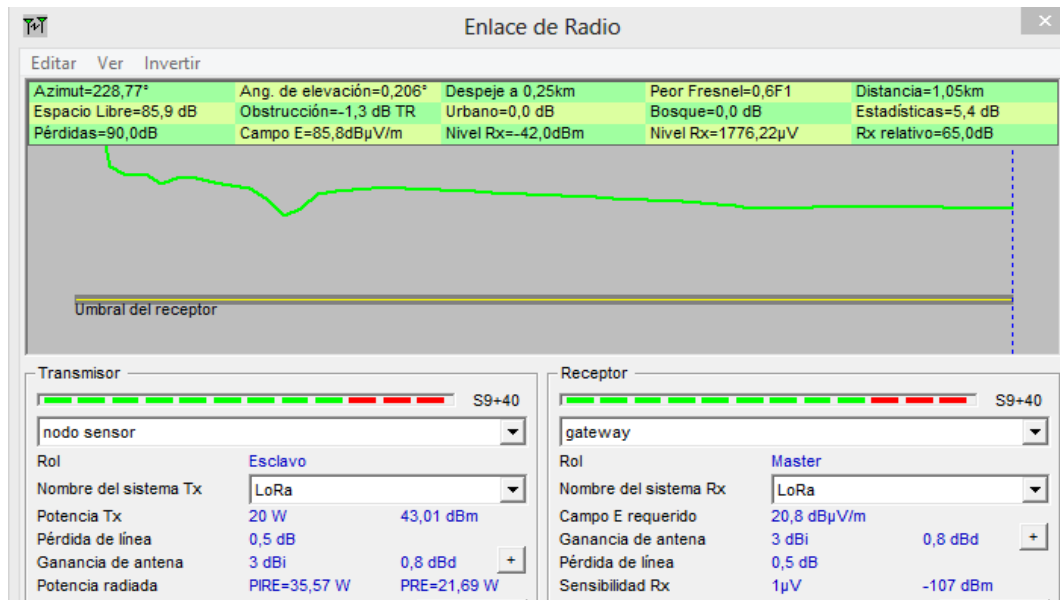


Figura 42 Umbral de recepción, Fuente: (Silva, Coello)

Como se puede apreciar tanto en la figura 41 como en la figura 42 se puede concluir que el enlace si es posible de realizar, también se puede verificar datos como la línea de vista entre los dispositivos y margen del umbral de recepción.

4.2.2 Prueba En Tanque De Agua Cruda

La primera prueba se la realizó en el tanque de 10000 litros de agua cruda, esta agua es extraída del subsuelo por ende no es apta para el consumo humano y se requiere saber cómo están sus propiedades para el siguiente paso que es la purificación por filtros y luego llegar a la osmosis inversa.



Figura 43 Tanque de agua cruda, Fuente: (Silva, Coello))

Se realizó la prueba con el prototipo durante el lapso de una hora para este escenario, esta prueba puede ser realizada a diario para monitorear el estado de esta agua, pero no es de tanta importancia ya que toda agua que llega a este tanque debe pasar por sus respectivos procesos de filtrado. Después de esta prueba se pudieron recopilar los siguientes datos mostrados en las figuras 44 y 45, los cuales se muestran a continuación.

Para esta prueba vemos la gráfica de temperatura cuyo valor del tanque esta aproximadamente a 30°C.

El valor obtenido en la turbidez es de 16 a 17 NTU, esto quiere decir que el agua no está apta para consumirla, el rango permitido para consumo humano es que debe ser menor a 5 NTU y en lo más óptimo menor a 1 NTU.

Es originada por las partículas en suspensión o coloides. Es decir, causada por las partículas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

El valor mostrado del PH dio 6.4. El PH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en tuberías.

Los resultados de solidos disueltos es de 124ppm, por ende, pasamos el máximo permitido que son 50ppm para el consumo humano, en esta agua sin procesar.

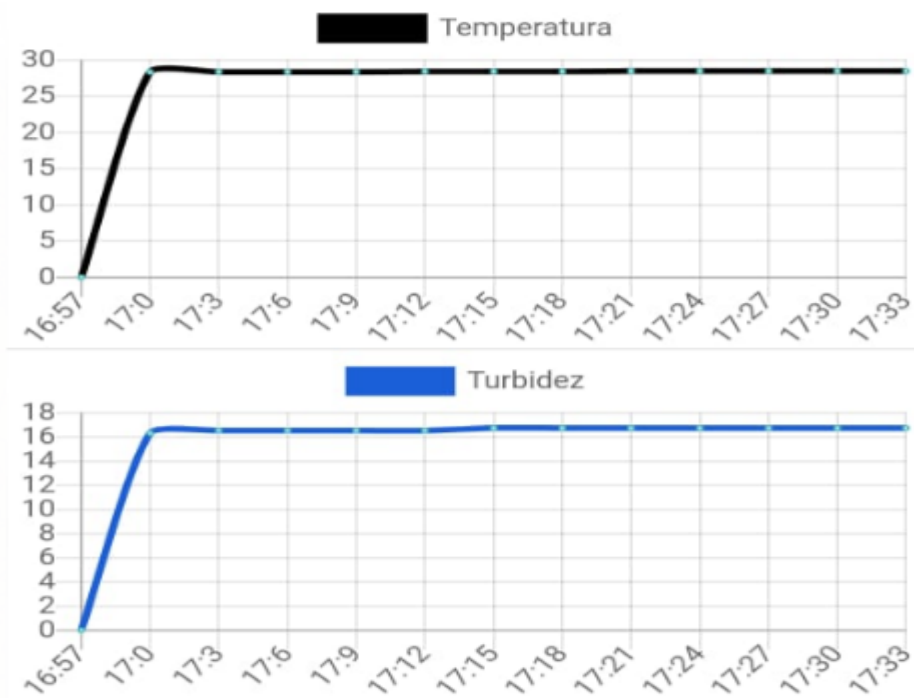


Figura 44 Temperatura y Turbidez del agua cruda, Fuente: (Silva, Coello)



Figura 45 PH y TDS del agua cruda, Fuente: (Silva, Coello)

4.2.3 Prueba En Tanque De Agua Procesada

La siguiente prueba se la realizo en el tanque de 10000 litros de agua procesada, esto es después de que el agua cruda ha pasado por los filtros y posterior a esto la osmosis inversa.



Figura 46 Tanque de Agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello)

Se procedió a realizar la prueba con el prototipo durante una hora en el reservorio de agua procesada, este proceso es importante ya que siempre se tiene que verificar si el agua cumple con las características necesarias para que esta sea apta para el consumo humano.

Ahora se procede a realizar las pruebas en el tanque de agua procesada en el cual obtuvimos los siguientes valores.

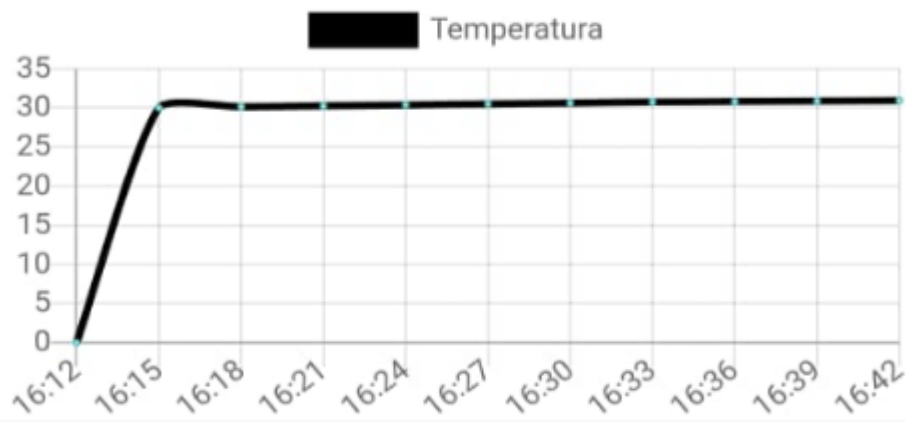


Figura 47 Temperatura del Agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello)

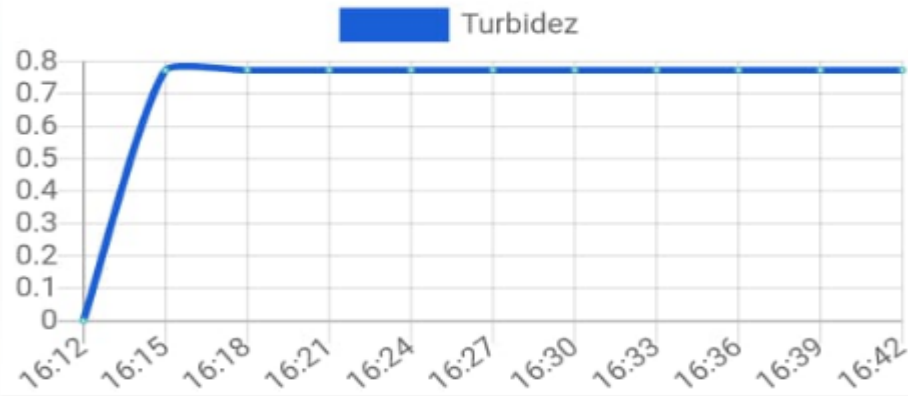


Figura 48 Turbidez del agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello)

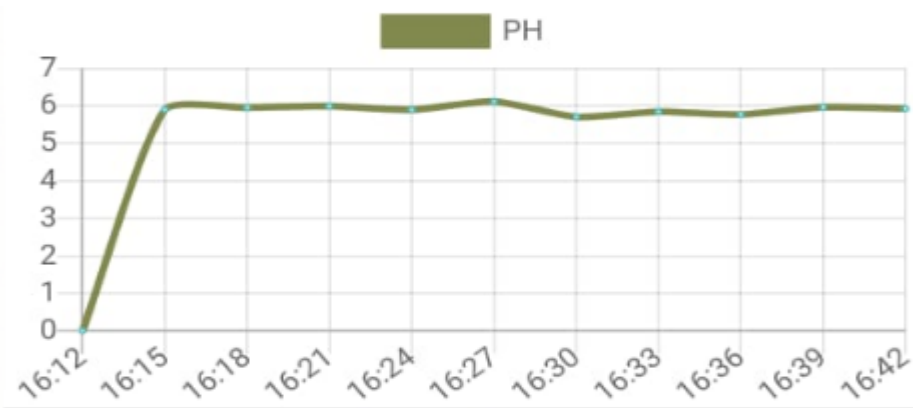


Figura 49 PH del Agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello)

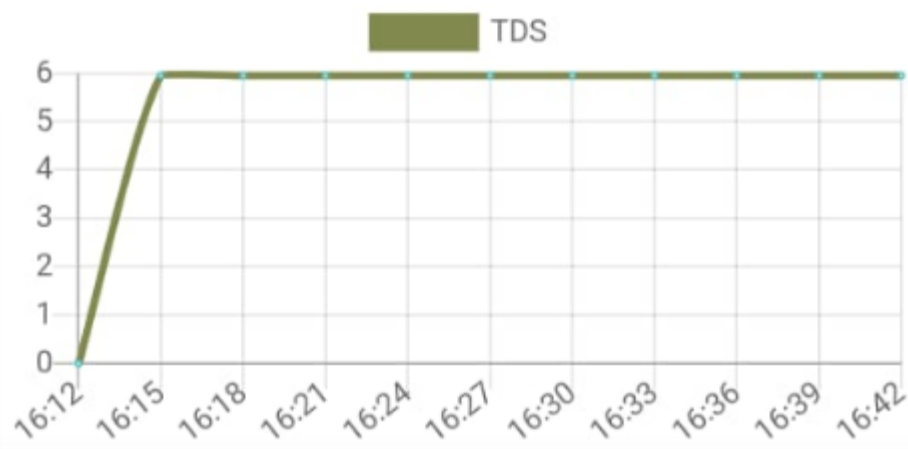


Figura 50 TDS Del Agua Procesada, Fuente: (Silva, Coello)

Como se puede apreciar en las figuras, durante el tiempo de muestreo pudimos observar que el agua ya procesada posee una temperatura de 29°C a 30°C.

Es uno de los parámetros físicos más importantes, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno. Existen múltiples factores, que principalmente son ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe.

Las mediciones de turbidez que se obtuvieron tomaron valores de entre 0.7 a 0.8 NTU, esto dice que tan clara está el agua. Según la OMS el agua para consumo humano no debe sobrepasar los 5 NTU y en lo más óptimo menor a 1 NTU.

Las mediciones de PH que se obtuvieron fueron de entre 6.0 a 6.11, el PH lo que indica es la acidez que presenta el agua, durante el muestreo se puede ver que presenta muchas variaciones, pero es por el constante movimiento del sensor en el agua.

Las mediciones de TDS o sólidos disueltos indica la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua y factor asociado a la turbidez lo que implica que si hay mayor TDS en una muestra mayor será la turbidez, en este caso las mediciones realizadas fueron de entre 5.8 ppm a 6 ppm.

Según los datos mostrados las pruebas realizadas en esta agua presentan características idóneas para que puedan ser consumidas por el ser humano.

También se adecuó la aplicación para que la persona que está tomando las muestras de agua pueda verificar en qué hora se está tomando la medición.

CONCLUSIONES

Una vez finalizado este trabajo se ha podido desarrollar un sistema de monitoreo para la calidad del agua con un rango de alcance considerable y además de bajo costo, a continuación, las conclusiones sobre el trabajo realizado.

- Se pudo alcanzar el punto principal el cual era el diseño e implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de sensores de temperatura, turbidez, TDS y PH para la calidad del agua utilizando tecnología LoRaWAN.
- La implementación del prototipo proporciona grandes ventajas para el sector ambiental ya que ahorra tiempo y recursos, ya que se puede monitorear estos parámetros sin la necesidad de trasladarse al lugar de estudio.
- Se pudo implementar un sistema de monitoreo solo con el uso de software libre como es el caso de Arduino y app inventor.
- La visualización de los datos mediante plataformas virtuales ayuda a la obtención de datos a través del internet o redes orientadas al usuario.
- Se programaron las interfaces para mostrar valores cada 3 minutos, ya que al ser un equipo que estará encendido todo el día no hay necesidad de enviar datos cada 10 segundos.
- El uso de dispositivos LoRa es una gran alternativa ya que permite implementar enlaces a grandes distancias a diferencia de otras tecnologías como zigfox o zigbee que también son usadas para desarrollo de aplicaciones IoT.
- Idealmente se podría usar un gateway multicanal en caso de que se posean más de dos nodos, pero al poseer un solo nodo sensor la implementación de este no fue necesaria.
- Durante las pruebas realizadas se pudo apreciar que para tener un mayor alcance se debe tener una buena línea de vista, al tener el nodo sensor al ras del suelo se debe de incrementar la altura de la antena en este caso la altura de la antena del gateway.
- A la hora de realizar un proyecto con redes de comunicación inalámbrica hay varios factores que se deben analizar como la cobertura de la red, según esto poder instalar el número de radio bases para que la señal llegue a su destino.

RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos se podrían implementar una mayor cantidad de sensores en cada nodo sensor con la finalidad de recopilar mayor información con respecto al análisis y propiedades del agua.
- Al ser un prototipo que se encontrará al aire libre se debería implementar una solución que permita dejar el prototipo en el lugar de estudio sin la preocupación de que este sea hurtado, para ello se podría implementar un sistema de cámaras para ver lo que hay en su alrededor.
- Implementar más soluciones orientadas a las redes IoT con la finalidad de monitorear parámetros ambientales.
- Para la implementación de una red LoRaWAN la altura que se encuentren estos dispositivos es importante ya que deben contar con línea de vista para que haya una máxima cobertura, caso contrario la señal se atenuaría y disminuiría su rango de alcance.
- Con la finalidad de una máxima duración de los equipos se podría diseñar una carcasa de acuerdo a las características del ambiente en el cual se estén desarrollando las pruebas.
- Incluir todas las librerías pertinentes para el sistema ya que si no se incluye las librerías podríamos tener errores en la compilación de los programas.

GLOSARIO

GATEWAY: Puerta de enlace. Permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes.

IOT: Internet de las cosas

ISM: Espectro de bandas que no poseen licencia para su utilización

Json: JavaScript Object Notation, Formato ligero para el intercambio de datos

LORA: LONG RANGE, tecnología de modulación radio

LORAWAN: Long Range wide area network, red de área extendida basada en lora

LPWAN: Low Power wide area network red de área extendida de baja potencia

NTU: unidad de turbidez nefelometricas

PH: potencial de hidrogeno

PPM: unidad de medición partículas por millón

SF: factor de dispersión

TDS: total de solidos disueltos

WSN: Wireless sensor network, red de sensores inalámbricos

REFERENCIAS

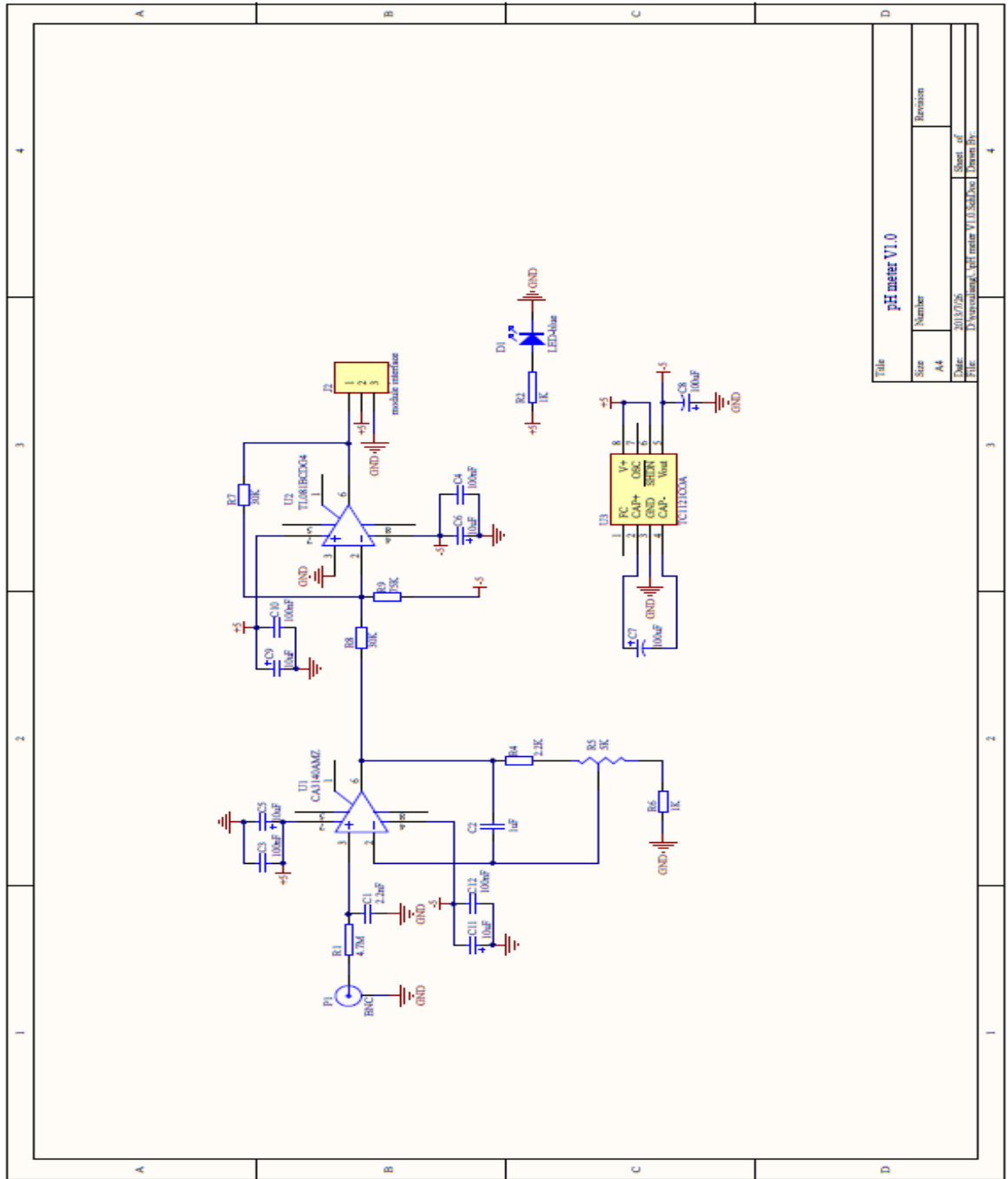
- Ambiente, M. d. (Septiembre de 2016). Obtenido de https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf
- Aprendiendoarduino. (05 de 03 de 2018). *aprendiendoarduino.com*. Obtenido de <https://www.aprendiendoarduino.com/2018/03/05/redes-lpwan/>
- Arduino. (04 de 12 de 2019). *Arduino*. Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Barrio, M. (2018). *Internet de las cosas*. Madrid: Reus.
- Bertoleti, P. (2019). *Proyecto con ESP32 Y LORA*. Sao Paulo: Instituto NCB.
- blogspot.com. (15 de 07 de 2012). *Redes de Sensores Inalambricas*. Obtenido de <http://redesdesensoreswsn.blogspot.com/>
- BRIDGEWATER, A. Y. (2009). *Energias Alternativas*. Paraninfo.
- Buestan, J. C. (2019). *DESARROLLO DE UNA RED IOT CON TECNOLOGÍA LORA PARA*. Quito.
- COBCM/COBCLM, i. (14 de 02 de 2015). *Indicadores COBCM*. Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Temperatura%20f26.pdf>
- DFROBOT. (2020). Obtenido de https://wiki.dfrobot.com/Waterproof_DS18B20_Digital_Temperature_Sensor__SKU_DFR0198_
- DFROBOT-TDS. (2020). *DFROBOT*. Obtenido de https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For_Arduino_SKU__SEN0244
- DFROBOT-TURBIDEZ. (2020). *DFROBOT*. Obtenido de https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189
- DigiKey. (06 de 2017). *DigiKey.com*. Obtenido de <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2017/jun/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>

- DiyMore. (2020). *https://www.diy-more.cc/*. Obtenido de <https://www.diy-more.cc/collections/all-about-arduino/products/diy-more-liquid-ph-value-detection-detect-sensor-module-monitoring-control-for-arduino-m>
- Dragino. (31 de 09 de 2019). *Dragino*. Obtenido de <https://www.dragino.com/products/lora/item/143-lg01n.html>
- Github. (Agosto de 2020). *Github*. Obtenido de <https://github.com/fgcoca/Prueba-de-placas-shield-y-sensores-para-Arduino/wiki/1-Sensor-de-turbidez>
- Heltec. (Agosto de 2020). *Heltec Automation*. Obtenido de <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
- Heltec. (Agosto de 2020). *heltec.org*. Obtenido de https://resource.heltec.cn/download/WiFi_LoRa_32/WIFI_LoRa_32_V2.pdf
- Infootec. (2019). *Infootec.net*. Obtenido de <https://www.infootec.net/arduino/#1--Descripcion-y-caracteristicas-tecnicas>
- Instruments, H. (2019). *Hanna Instruments*. Obtenido de <https://www.hannacolombia.com/blog/post/39/la-temperatura-afecta-el-ph-del-agua>
- Instruments, N. (2019). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/innovations-library/white-papers/esa/>
- IOT, A. (2019). *AlfaIOT*. Obtenido de <https://alfaiot.com/quienes-somos>
- LoRaAlliance. (01 de 2015). *Lora-alliance.org*. Obtenido de https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-05/2015_-_lorawan_specification_1r0_611_1.pdf
- Medium. (25 de 09 de 2017). *Medium.com*. Obtenido de <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>
- Monarca, B. (28 de 11 de 2019). *Bonsai Monarca*. Obtenido de <http://www.bonsaimonarca.com/?s=PARAMETROS#Conductividad%20y%20Resistividad>
- OpenSource. (2019). *osiberia.org*. Obtenido de <https://osiberia.org/que-es-una-red-iot-lpwan/>
- Perez, E. (27 de 08 de 2018). *Medium.com*. Obtenido de

<https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/lorawan-d00f48384160>

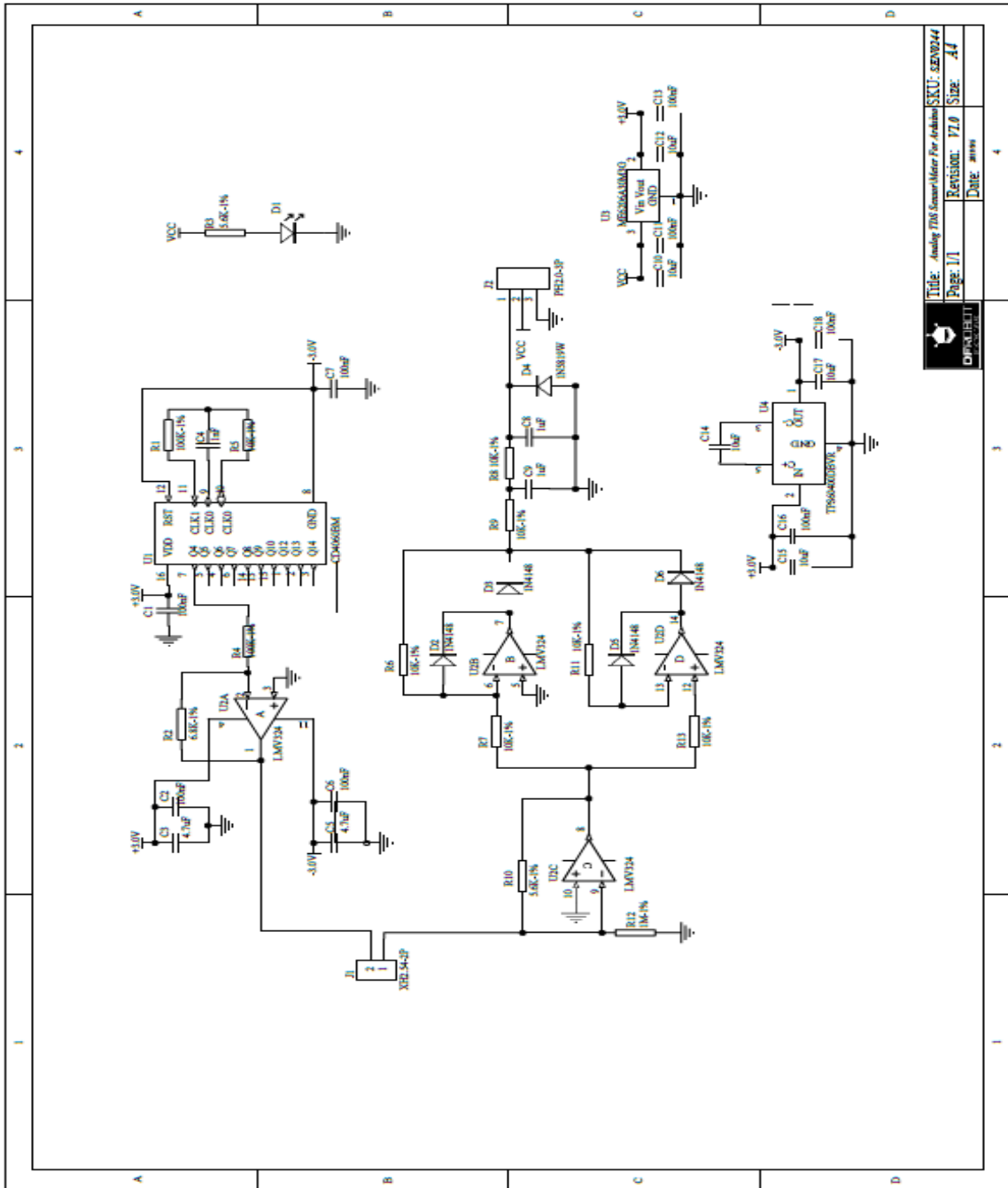
- Quimbita, M. M. (1 de Abril de 2018). *RIUNET*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109791/Moya%20%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20pasarela%20LoRa/LoRaWAN%20en%20entornos%20urbanos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- rs-online. (28 de 11 de 2019). *rs-online*. Obtenido de <https://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=i/iot-internet-of-things>
- Singh, C. (09 de 2020). *beginnersbook.com*. Obtenido de <https://beginnersbook.com/2017/09/mapping-relational-databases-to-mongodb/>
- Solera, E. (27 de 09 de 2018). *Medium.com*. Obtenido de <https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/modulaci%C3%B3n-lora-4ad74cabd59e>
- TheThingsNetwork. (2019). *TheThingsNetwork.org*. Obtenido de <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/classes.html>
- Vergara, M. (2018). <http://www.electronica.usm.cl/>. Obtenido de <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeBaterias.pdf>
- Zennaro, M. (22 de 06 de 2012). *academia.edu*. Obtenido de https://www.academia.edu/2236615/Introduction_to_Wireless_Sensor_Networks

ANEXOS



Title		pH meter V1.0	
Size	Number	Revision	
A4			
Date	2013/26	Sheet of	
File	D:\anexos\pH meter V1.0\schDoc1	Drawn by	

Anexo 1 Diagrama esquemático del sensor de PH



Title: Analog TDS Sensor/Meter For Arduino SKU: SZW0244
 Page: 1/1 Revision: 17.0 Size: .A1
 Date: mm/dd/yyyy

Anexo 2 Diagrama esquemático del sensor de TDS

Anexo 3 Programación Tarjeta Arduino

```
#include <ArduinoJson.hpp>
#include <ArduinoJson.h>
#include <SoftwareSerial.h>

// PH
#include <Wire.h>
float calibration_value = 19.0;
int phval = 0;
unsigned long int avgval;
int buffer_arr[10],temp;

// TDS - Turbidez

#define TdsSensorPin A1
#define VREF 4.0 // analog reference voltage(Volt) of the ADC
#define SCOUNT 30 // sum of sample point
int analogBuffer[SCOUNT]; // store the analog value in the array, read from ADC
int analogBufferTemp[SCOUNT];
int analogBufferIndex = 0,copyIndex = 0;
float averageVoltage = 0,tdsValue = 0,temperature = 25;

// Temperatura
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Temperatura
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

OneWire ourWire(6); //Se establece el pin 2 como bus OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor

float ph = 0;
float tds = 0;
float turbidez = 0;
float temperatura = 0;

String jsonData;

SoftwareSerial sw(2, 3); // RX, TX

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Interfacing arduino with nodemcu");
  sw.begin(115200);
  sensors.begin(); //Se inicia el sensor

  pinMode(TdsSensorPin,INPUT);
}
```



```

void SerializeObjectData()
{
    jsonData = "";
    StaticJsonDocument<300> doc;
    doc["ph"] = ph;
    doc["tds"] = tds;
    doc["turbidez"] = turbidez;
    doc["temperatura"] = temperatura;

    serializeJson(doc, jsonData);
    Serial.println(jsonData);
}

void ConvertirA2Decimales() {
    int valor = 0;
    valor = ph*100;
    ph = valor / 100;

    valor = tds*100;
    tds = valor / 100;

    valor = turbidez*100;
    turbidez = valor / 100;

    valor = temperatura*100;
    temperatura = valor / 100;
}

int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen)
{
    int bTab[iFilterLen];
    for (byte i = 0; i<iFilterLen; i++)
        bTab[i] = bArray[i];
    int i, j, bTemp;
    for (j = 0; j < iFilterLen - 1; j++)
    {
        for (i = 0; i < iFilterLen - j - 1; i++)
        {
            if (bTab[i] > bTab[i + 1])
            {
                bTemp = bTab[i];
                bTab[i] = bTab[i + 1];
                bTab[i + 1] = bTemp;
            }
        }
    }
    if ((iFilterLen & 1) > 0)
        bTemp = bTab[(iFilterLen - 1) / 2];
    else
        bTemp = (bTab[iFilterLen / 2] + bTab[iFilterLen / 2 - 1]) / 2;
    return bTemp;
}

```

```

void loop() {
  ph = random(0,15);
  tds = random(0,15);
  turbidez = random(0,15);
  temperatura = random(0,15);

  // PH

  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buffer_arr[i]=analogRead(A0);
    delay(30);
  }
  for(int i=0;i<9;i++)
  {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buffer_arr[i]>buffer_arr[j])
      {
        temp=buffer_arr[i];
        buffer_arr[i]=buffer_arr[j];
        buffer_arr[j]=temp;
      }
    }
  }
  avgval=0;
  for(int i=2;i<8;i++)
  avgval+=buffer_arr[i];
  float volt=(float)avgval*5.0/1024/6;
  ph = -5.70 * volt + calibration_value;

  // TDS - Turbidez

  static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
  if(millis()-analogSampleTimepoint > 400) //every 40 milliseconds,read the analog value from the ADC
  {
    analogSampleTimepoint = millis();
    analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(TdsSensorPin); //read the analog value and store into the buffer
    analogBufferIndex++;
    if(analogBufferIndex == SCOUNT)
      analogBufferIndex = 0;
  }
  static unsigned long printTimepoint = millis();
  if(millis()-printTimepoint > 8000)
  {
    printTimepoint = millis();
    for(copyIndex=0;copyIndex<SCOUNT;copyIndex++)
      analogBufferTemp[copyIndex]= analogBuffer[copyIndex];
    averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp,SCOUNT) * (float)VREF / 1024.0; // read the analog value more stable
    float compensationCoefficient=1.0+0.02*(temperature-25.0); //temperature compensation formula: fFinalResult(25°C)
    float compensationVoltage=averageVoltage/compensationCoefficient; //temperature compensation
  }
}

```

```

float compensationVolatge=averageVoltage/compensationCoefficient; //temperature compensation
tdsValue=(133.42*compensationVolatge*compensationVolatge*compensationVolatge - 255.86*compensationVolatge*compensationVolatge
//Serial.print("voltage:");
//Serial.print(averageVoltage,2);
//Serial.print("V  ");
tds = tdsValue;
turbidez = tdsValue*0.13;
}

// Temperatura
sensors.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la temperatura
temperatura = sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C

//ConvertirA2Decimales();
SerializeObjectData();
Serial.println("Sending data to nodemcu");
Serial.print(jsonData);
Serial.println();

sw.print(jsonData);
sw.println();
delay(2000);
}

```

Anexo 4 Programación módulo ESP 32 LoRa Transmisor

```
#include <ArduinoJson.hpp>
#include <ArduinoJson.h>
#include "heltec.h"
#include "images.h"

#define BAND 433E6 //you can set band here directly,e.g. 868E6,915E6

unsigned int counter = 0;
String rssi = "RSSI --";
String packSize = "--";
String packet ;

float ph = 0;
float tds = 0;
float turbidez = 0;
float temperatura = 0;

String jsonData;

void logo()
{
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->drawXbm(0,5,logo_width,logo_height,logo_bits);
  Heltec.display->display();
}

void SerializeObjectData()
{
  jsonData = "";
  StaticJsonDocument<300> doc;
  doc["ph"] = ph;
  doc["tds"] = tds;
  doc["turbidez"] = turbidez;
  doc["temperatura"] = temperatura;

  serializeJson(doc, jsonData);
  Serial.println(jsonData);
}

void DeserializeObjectData()
{
  StaticJsonDocument<300> doc;
  DeserializationError error = deserializeJson(doc, jsonData);
  if (error) { return; }

  ph = doc["ph"];
  tds = doc["tds"];
  turbidez = doc["turbidez"];
  temperatura = doc["temperatura"];

  Serial.println(jsonData);
}
```

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.setTimeout(500); // Set time out for
  //WIFI Kit series V1 not support Vext control
  Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true /*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa Disable*/, true
  /*Serial Enable*/, true /*PABOOST Enable*/, BAND /*long BAND*/);

  Heltec.display->init();
  Heltec.display->flipScreenVertically();
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);
  logo();
  delay(1500);
  Heltec.display->clear();

  Heltec.display->drawString(0, 0, "Heltec.LoRa Initial success!");
  Heltec.display->display();
  delay(1000);
}

void loop()
{
  |
  DeserializeObjectData();

  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

  Heltec.display->drawString(0, 0, "Sending packet: ");
  Heltec.display->drawString(90, 0, String(counter));
  Heltec.display->drawString(0, 10, "PH: ");
  Heltec.display->drawString(90, 10, String(ph));
  Heltec.display->drawString(0, 20, "TDS: ");
  Heltec.display->drawString(90, 20, String(tds));
  Heltec.display->drawString(0, 30, "Turbidez: ");
  Heltec.display->drawString(90, 30, String(turbidez));
  Heltec.display->drawString(0, 40, "Temperatura: ");
  Heltec.display->drawString(90, 40, String(temperatura));
  Heltec.display->display();
  // send packet
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.setTxPower(14, RF_PACONFIG_PASELECT_PABOOST);
  LoRa.print(jsonData);
  LoRa.endPacket();
  counter++;
  digitalWrite(LED, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(100); // wait for a second
  digitalWrite(LED, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second

  if (Serial.available() > 0) {
    char bfr[501];
    memset(bfr, 0, 501);
    Serial.readBytesUntil( '\n', bfr, 500);
    Serial.println(bfr);
    jsonData = bfr;
  }
}

```

Anexo 5 Programación Modulo ESP 32 LoRa Receptor

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <ArduinoJson.hpp>
#include <ArduinoJson.h>
#include "heltec.h"
#include "images.h"

const char* ssid = "NETLIFE - MOSQUERA";
const char* password = "Mundo150678";

//Your Domain name with URL path or IP address with path
const char* serverName = "https://lorawan-266814.appspot.com/sensores";

// the following variables are unsigned longs because the time, measured in
// milliseconds, will quickly become a bigger number than can be stored in an int.
unsigned long lastTime = 0;
// Timer set to 10 minutes (600000)
//unsigned long timerDelay = 600000;
// Set timer to 5 seconds (5000)
unsigned long timerDelay = 5000;

#define BAND 433E6 //you can set band here directly,e.g. 868E6,915E6
String rssi = "RSSI --";
String packSize = "--";
String packet ;

float ph = 0;
float tds = 0;
float turbidez = 0;
float temperatura = 0;

String jsonData;
String jsonDataServer;

void logo(){
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->drawXbm(0,5,logo_width,logo_height,logo_bits);
  Heltec.display->display();
}

void LoRaData() {
  Heltec.display->clear();
  Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
  Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

  Heltec.display->drawString(0, 10, "PH: ");
  Heltec.display->drawString(90, 10, String(ph));
  Heltec.display->drawString(0, 20, "TDS: ");
  Heltec.display->drawString(90, 20, String(tds));
  Heltec.display->drawString(0, 30, "Turbidez: ");
  Heltec.display->drawString(90, 30, String(turbidez));
  Heltec.display->drawString(0, 40, "Temperatura: ");
  Heltec.display->drawString(90, 40, String(temperatura));
```

```

void SerializeObjectData()
{
    jsonDataServer = "";
    StaticJsonDocument<300> doc;
    doc["payload_fields"]["ph"] = ph;
    doc["payload_fields"]["tds"] = tds;
    doc["payload_fields"]["turbidez"] = turbidez;
    doc["payload_fields"]["temperatura"] = temperatura;

    serializeJson(doc, jsonDataServer);
    Serial.println(jsonDataServer);
}

void DeserializeObjectData()
{
    StaticJsonDocument<300> doc;
    DeserializationError error = deserializeJson(doc, packet);
    if (error) { return; }

    ph = doc["ph"];
    tds = doc["tds"];
    turbidez = doc["turbidez"];
    temperatura = doc["temperatura"];

    Serial.println(packet);
}

void cbk(int packetSize) {
    packet = "";
    packetSize = String(packetSize, DEC);
    for (int i = 0; i < packetSize; i++) { packet += (char) LoRa.read(); }
    rssi = "RSSI " + String(LoRa.packetRssi(), DEC);
    DeserializeObjectData();
    LoRaData();
}

void setup() {

    Serial.begin(115200);
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.println("Connecting");
    while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("");
    Serial.print("Connected to WiFi network with IP Address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    Serial.println("Timer set to 5 seconds (timerDelay variable), it will take 5 seconds before publishing the first reading.");

    //WIFI Kit series V1 not support Vext control
    Heltec.begin(true /*DisplayEnable Enable*/, true /*Heltec.Heltec.Heltec.LoRa Disable*/,
    true /*Serial Enable*/, true /*PABOOST Enable*/, BAND /*long BAND*/);
}

```

```

void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) { cbk(packetSize); }
  delay(10);

  //Send an HTTP POST request every 10 seconds
  if ((millis() - lastTime) > timerDelay) {
    //Check WiFi connection status
    if(WiFi.status()== WL_CONNECTED){
      SerializeObjectData();
      HTTPClient http;
      // Your Domain name with URL path or IP address with path
      http.begin(serverName);
      // If you need an HTTP request with a content type: application/json, use the following:
      http.addHeader("Content-Type", "application/json");
      // JSON data to send with HTTP POST
      String httpRequestData = jsonDataServer;
      // Send HTTP POST request
      Serial.println("Enviando");
      Serial.println(jsonDataServer);
      int httpResponseCode = http.POST(jsonDataServer);
      Serial.print("HTTP Response code: ");
      Serial.println(httpResponseCode);
      // Free resources
      http.end();
    }
    else {
      Serial.println("WiFi Disconnected");
    }
  }
}

```