



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**MONITOREO DE VARIABLES INDUSTRIALES BASADAS EN PROTOCOLO DE
COMUNICACIÓN LoRa**

AUTOR:

Diego Leonardo Mogrovejo Narvárez

TUTOR:

Ing. Edgar Emanuel González Malla, Mst.

QUITO, ECUADOR
2019

DECLARACIÓN

Yo, Diego Leonardo Mogrovejo Narváez, declaro bajo juramento que el tema de tesis: **“MONITOREO DE VARIABLES INDUSTRIALES BASADAS EN PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN LoRa”** desarrollado es de mi autoría, y no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

Atentamente;

Diego Leonardo Mogrovejo Narváez.
CC: 0105284160

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**Monitoreo de variables industriales basadas en protocolo de comunicación LoRa**”, presentado por el Sr. Diego Leonardo Mogrovejo Narváez, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito 10, de agosto del 2019

TUTOR

Ing. Edgar Emanuel González Malla.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mis padres por darme la fortaleza y sabiduría para poder afrontar todos los problemas, obstáculos que se me presentaron a lo largo de este camino, por darme ánimos y apoyo cuando muchas veces quise dejar todo a medio camino y me demostraron que es verdad que uno puede llegar hasta donde quiere, a mi madre que todas las noches me esperaba cuando llegaba agotado del trabajo con la comida lista y a mi padre César por los consejos y apoyo, mi más sincero agradecimiento de corazón ya que si no fuera por ellos esto no fuera posible.

Diego Mogrovejo

DEDICATORIA

La presente tesis dedico al ser amado que me formo quien soy ahora, como quisiera que este aquí y me diga si vez lo lograste y te sientas orgulloso y tu sueño se haga realidad de verme cumplir una meta, esto va para ti papi César que te nos adelantaste, pero desde el cielo sé que nos guías y proteges.

Diego Mogrovejo

TABLA DE CONTENIDO

Antecedentes	1
Planteamiento de problema.....	2
Justificación	3
Objetivo General	3
Objetivo Específico	3
Alcance	4
Descripción de los capítulos	5
CAPITULO 1	
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	2
1.1 REDES INALÁMBRICAS.....	2
1.1.1 Tipos de redes inalámbricas	2
1.1.2 Estándares	6
1.2 SENSORES.....	9
1.2.1 Tipos de sensores.....	9
1.3 Redes de sensores inalámbricos	11
1.3.1 Componentes de una WSN	12
1.3.2 Normas	13
1.4. IOT.....	16
1.4.1 Áreas de Aplicación.....	16
1.4.2 Costos.....	19
1.4.3 Estándares	19
1.4.4 Seguridad y Privacidad	20
1.5 LORA.....	20
1.5.1 LoRaWAN	21
CAPÍTULO 2	
Marco Metodológico.....	24
2.1. Marco Metodológico.....	24
2.1.1. Técnicas metodológicas	25
2.2. Metodología del desarrollo.....	25
CAPÍTULO 3	
Propuesta.....	28
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	29
3.2 INFORMACIÓN DE EQUIPOS.....	29
3.2.1 Modulo LORA	29
3.2.2 Antena de comunicación	31
3.2.3 Sensor de medición	32
3.3 BENEFICIOS DE LA PROPUESTA.....	36
3.4 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA	36
3.4.1 Análisis Ambiental.....	36
3.4.2 Análisis Técnico.....	36
3.4.3 Análisis Económico	36
3.5 ANÁLISIS DE TIEMPO	39

3.6 DISEÑO	40
3.7 VENTAJAS DEL PRODUCTO	40
CAPÍTULO 4	
4.1 Desarrollo	42
4.1.1 Nodo Transmisor TX	42
4.1.2 Nodo Receptor RX.....	50
4.2.3 Estructura de las placas	60
4.2 IMPLEMENTACIÓN	63
4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	65
4.3.1 UDP_inicio	65
4.3.2 Archivos Excel.....	66
4.3.3 Lora_adc	68
4.3.4 Pruebas de medición.....	72
4.3.5 Pruebas de conexión.....	72
4.3.6 Prueba de Lectura del Sensor cargando	73
4.3.7 Pruebas de Transmisión.....	74
4.3.9 Pruebas de Lectura y Validación de Datos	79
4.3.10 Pruebas de Implementación	80
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
4.4.1 Simulación del enlace en el software radio mobile.....	81
4.4.2 Configuración del Transmisor TX	83
4.4.3 Modelos De Propagación	86
Conclusiones	92
Recomendaciones	93
BIBLIOGRAFÍA.....	94
ANEXOS.....	98
Anexo N°1: Manual de Usuario	99
Anexo N° 2: Manual Técnico.....	107

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 WPAN	3
Figura 1.2 WLAN	4
Figura 1.3 Topología estrella del sistema WSN	12
Figura 1.4 Red WirelessHART	15
Figura 1.5 Estructura de la red LoRaWAN	22
Figura 3.1 Forma de medición de los niveles de agua	28
Figura 3.2 Microchip LoRa RN2903	29
Figura 3.3 Antena FW.95	31
Figura 3.4 Sonda de pozo modelo LS-10	32
Figura 3.5: Cronograma de proyecto	39
Figura 3.6 Case de nodos Transmisor TX y Receptor RX	41
Figura 4.1 Configuración del Microcontrolador RN2903	42
Figura 4.2 Configuración Fuente externa	¡Error! Marcador no definido. 48
Figura 4.3 Configuración Mikrobuss	49
Figura 4.5 configuración entradas analógicas	50
Figura 4.6 Configuración microcontrolador esclavo receptor RX	50
Figura 4.7 Configuración fuente externa receptor RX	52
Figura 4.8 Configuración Microcontrolador Maestro receptor RX	53
Figura 4.9: Configuración Mikrobuss receptor RX	59
Figura 4.10 Configuración display receptor RX	59
Figura 4.11 Configuración modulo UART wifi receptor RX	60
Figura 4.12 Estructura de la placa Transmisora TX	61
Figura 4.13 Estructura de la placa Receptora RX	62
Figura 4.14 Instalación nodo Transmisor TX	63
Figura 4.15 Vista Interior del tanque de abastecimiento	64
Figura 4. 16 nodo Receptor RX instalado en Oficinas administrativas	64
Figura 4.17 Proceso de UDP_inicio	65
Figura 4.18 Primer paso para el VI archivo Excel	66
Figura 4.19 Segundo paso para el VI archivo Excel	67
Figura 4.20 Monitoreo de los tanques de agua en tiempo real	68
Figura 4.21 Tabla de actualización de datos	68
Figura 4.22 Comunicación bloques UDP	69
Figura 4.23 Función UDP READ	69
Figura 4.24 Procesamiento de datos	70
Figura 4.26 Envío de datos al archivo Excel	71
Figura 4.27 Envío de datos a la tabla labview	71
Figura 4.28 Validación de lectura de datos	72
Figura 4. 29 comunicación entre nodos	72
Figura 4.30 Carga de Código en microcontrolador	73
Figura 4.31 Verificación de lectura	73
Figura 4.32 Prueba 1 de Transmisión (1.7 km)	74

Figura 4.33 Prueba 2 de Transmisión (1.7Km)	74
Figura 4.34 Prueba 1 de Transmisión 5.9 km.....	75
Figura 4.35 Prueba 2 de Transmisión 5.9 km.....	75
Figura 4.36 Prueba 1 de Transmisión 3.02 km.....	76
Figura 4.37 Prueba 2 de Transmisión 3.02 km.....	76
Figura 4.38 Prueba 1 de Alcance 4.06 km	77
Figura 4.39 Prueba 2 de Alcance 4.06 km	77
Figura 4.40 Prueba 1 de Alcance 3.66 km	78
Figura 4.41 Prueba 2 de Alcance 3.66 km	78
Figura 4.42 Prueba de lectura 8cm.	79
Figura 4.43 Prueba de lectura 11 cm.	79
Figura 4.44 Prueba de lectura 21 cm.	79
Figura 4.45 Prueba de lectura 21 cm.	80
Figura 4.46 Configuración de parámetros de red	81
Figura 4.47 Configuración de topología de red.....	82
Figura 4.48 Configuración de parámetros del Transmisor TX.....	83
Figura 4.49 Configuración de Rol Transmisor TX.....	84
Figura 4.50 Configuración de Rol Receptor RX	84
Figura 4.51 Configuración de coordenadas de la ubicación del Transmisor TX	85
Figura 4.52 Resumen de configuración	85
Figura 4.53 Modelo de propagación Longley – rice.....	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Frecuencias del estándar 802.15.4.....	15
Tabla 3.1 Especificaciones generales del Módulo RN2903	30
Tabla 3.2 Características principales antena FW.95	31
Tabla 3.3 Características principales sensor LS-10	33
Tabla 3.4 Materiales empleados para el ensamblaje del nodo Receptor RX	34
Tabla 3.5 Materiales empleados para el ensamblaje del nodo Transmisor TX.....	35
Tabla 3.6 Costos para el ensamblaje del nodo Transmisor TX.....	37
Tabla 3.7 Costos para el ensamblaje del nodo Receptor RX	38
Tabla 3.8 Costo total del proyecto	39

RESUMEN

El presente documento muestra el diseño y la implementación de nodos inalámbricos los mismos que permiten tomar las medidas de los niveles de agua en los tanques de abastecimiento de agua potable de la parroquia Baños, cantón Cuenca, provincia del Azuay,

Para estos nodos, se emplean elementos que permitan tener comunicación en zonas donde no existe cobertura telefónica ni de internet como son: módulos LoRa, antena FW.95 y sensor LS-10

Se desarrolla dos nodos, el primero receptor RX; el mismo que será instalado en las oficinas administrativas de agua potable mientras que el nodo transmisor TX será instalado en los tanques de abastecimiento, para la interpretación de los datos se empleará una aplicación que permita visualizar por medio de tablas y gráficos los valores enviados por el transmisor TX.

Se describen conceptos y características de herramientas que se emplearan en el desarrollo de este proyecto con el fin de tener una base sólida sobre los conocimientos. Se detalla la metodología y las técnicas de investigación empleadas para recabar la información, finalizando con el desarrollo, pruebas y la implementación de los nodos.

Palabras claves – modulo LoRa, nodo Transmisor TX, nodo Receptor RX, tanques de abastecimiento, nivel de agua, baja cobertura de internet, sensores inalámbricos.

ABSTRACT

This document shows the design and implementation of wireless nodes that allow the measurement of water levels in the drinking water supply tanks of Baños parish, Cuenca canton, Azuay province,

For these nodes, elements are used that allow communication in areas where there is no telephone or internet coverage such as: LoRa modules, FW.95 antenna and LS-10 sensor

It develops two nodes, the first RX receiver; the same that will be installed in the administrative offices of drinking water while the TX transmitter node will be installed in the supply tanks, for the interpretation of the data an application will be used that allows to visualize by means of tables and graphs the values sent by the TX transmitter

Concepts and characteristics of tools that will be used in the development of this project are described in order to have a solid knowledge base. The methodology and research techniques used to collect the information are detailed, ending with the development, testing and implementation of the nodes.

Keywords – LoRa module, TX Transmitter node, RX Receiver node, supply tanks, water level, low internet coverage, wireless sensors.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Los sistemas de automatización y control de procesos industriales han sido un tema permanente para investigadores y desarrolladores de la tecnología inalámbrica durante los últimos años. La reducción del cableado en las áreas de planta, la movilidad y la flexibilidad son apenas un abreboca de los beneficios que trae consigo la incorporación de sistemas inalámbricos en la automatización de procesos. En los últimos años se han desarrollado numerosos avances que han traído consigo la tecnología de redes de sensores inalámbricos. Hoy en día existen redes conformadas por dispositivos inteligentes inalámbricos que permiten llevar a cabo el control del sistema reduciendo costos al evitar usar cables para la transmisión de datos. Estos sensores tienen baterías incorporadas y transmiten datos vía inalámbrica usando estaciones base para cubrir grandes distancias asegurando que la información llegue a su destino.

Con el avance de la tecnología se generan nuevas tendencias que proporcionan mayor competitividad a las empresas, el internet de las cosas (IoT) es una tecnología que se está implementando y permite ofrecer servicios más complejos de los que existen actualmente (Rueda & Potocarrero, 2017).

No obstante, en Ecuador el uso de redes de sensores inalámbricos a nivel industrial es limitado, por el momento existen equipos que permiten realizar de manera inalámbrica el censo, monitoreo y control de múltiples variables en los procesos industriales.

La utilización de redes de sensores inalámbricos permite hacer un uso eficiente de la energía, son escalables, es decir que puede incorporarse nuevos sensores sin afectar el rendimiento, permite la implementación de topologías dinámicas de red (Rueda & Potocarrero, 2017). Las ventajas de utilizar sensores inalámbricos es que se los puede utilizar en lugares que tienen un acceso difícil o en entornos peligrosos. Se los puede integrar a una red creando un sistema central desde el que se puede monitorear todas las variables. Y finalmente permiten una reducción de costos porque evitan comprar cables, canaletas, conductos y otros accesorios que son costosos (Aguilar, Leon, Alvarez, Aguilar, & Marinez, 2016).

El alcance que tienen los sensores inalámbricos es limitado por ello se hace uso del internet para enviar los datos a cualquier parte, pero el problema surge cuando no se dispone de una conexión a internet, ni acceso a una red de telefonía celular. Entonces se necesita de un dispositivo que permita mejorar el alcance de la señal inalámbrica y que tenga seguridad para evitar el robo de información.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Actualmente los avances tecnológicos han venido dando pasos agigantados, esto se debe al creciente interés del aprovechamiento de la inteligencia del ser humano; por ejemplo un avance que ha revolucionado y sigue revolucionando a los investigadores a nivel mundial es el boom de las comunicaciones inalámbricas, que durante los últimos años ha propiciado el crecimiento de numerosas herramientas para manejar los dispositivos y aplicaciones emergentes, empresas analistas del mercado tecnológico indican que "la tecnología sin hilos tendrá un alto impacto en el mercado industrial en los próximos cinco años".

Este proyecto fue pensado para utilizarse en zonas rurales, campos en donde el acceso a internet no es posible, la idea nace porque el control de los niveles de agua para el abastecimiento de las comunidades en la parroquia Baños perteneciente a la ciudad de Cuenca se lo realiza con el personal movilizándose hasta los tanques de almacenamiento. En la zona donde se hace el control de los niveles de agua no cuenta con señal de telefonía celular y ni acceso a internet, además, las oficinas en donde labora el personal se encuentran aproximadamente a 6 Km de los tanques reservorios. En el mercado se encuentran sensores inalámbricos, pero tienen un alcance de transmisión limitado y si se desea transmitir a largas distancias se emplea internet, además de depender de un diseño y topología de red que se adapten al medio en el que se desee implementar la red de sensores.

JUSTIFICACIÓN

Se requiere de un sistema que permita la monitorización de los niveles de agua y que la información sea enviada a las oficinas. Con la aplicación de este proyecto se puede implementar una red de sensores que monitoreen el nivel de agua y envíen la información a las oficinas manteniendo el control constante de los niveles de agua. Se propone el uso de protocolos de comunicación LoRa (Long Range Wide Area Network) porque es un sistema, inmune a interferencias, seguro y que no genera costos mensuales ya que trabaja en un canal de banda libre y distinta a la de los dispositivos comunes con wifi, telefonía móvil, radios de comunicación móvil (Munca & Daniel, 2017).

De esta manera, con el desarrollo del transmisor planteado se busca brindar una alternativa confiable, sustentable y de bajo costo para la transmisión de los datos de salida de transductores comerciales y utilizados en la industria, que con el uso de la tecnología LoRa (Long Range Wide Area Network), que se basa en el uso de banda libre de largo alcance y en tiempo real, la frecuencia para América es la 915Mhz (Cáceres, 2017) (Arcotel, 2018), no se necesita conexión a internet, que se pueda utilizar incluso para aplicaciones en donde no se tenga acceso a internet y se necesite realizar monitoreos constantes y en tiempo real de datos emitidos por sensores para realizar controles y supervisiones de sus estados en la industria.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un prototipo que permita mejorar el alcance de un transductor industrial inalámbrico utilizando el protocolo de comunicación LoRa para monitorear los niveles de agua en zonas rurales.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analizar el protocolo lora para determinar las características que debe cumplir el dispositivo para soportar el protocolo.
- Desarrollar un prototipo que permita la comunicación inalámbrica y ofrezca alta inmunidad a interferencias.
- Elaborar un manual de usuario para que el dispositivo sea utilizado de forma correcta.
- Realizar un protocolo de pruebas de funcionamiento del prototipo analizando la

distorsión de la señal y la velocidad con la que llegan los datos conforme se aumenta la distancia de transmisión.

- Diseñar una HMI la cual permita la visualización de los valores enviados por los transductores.

ALCANCE

Se recolectará información sobre el protocolo LoRa investigando en libros, artículos científicos e Internet para tener una comprensión de las características que deben tener los dispositivos para hacer uso de este protocolo. Comprendido los requerimientos se diseñará e implementará el dispositivo que permita la comunicación inalámbrica, para ello se realizará primero el circuito electrónico en un software de simulación como Proteus, después del diseño se procederá a su implementación en baquelita obteniendo el circuito en una placa PCB. El prototipo tendrá una segunda placa la cual permitirá acoplar la señal de salida normalizada del transductor (4-20mA).

El protocolo de pruebas se implementará aumentando la distancia progresivamente para cuantificar la afectación de la distancia a los parámetros de distorsión y velocidad de transmisión. Para ello se utilizará un analizador de señales. El desarrollo de la HMI permitirá observar los valores de las variables que los transductores están midiendo. Para ello se utilizará un software como LabView, Intouch o Archestra, u otro software que sea open source y se seguirá la norma ISA 101 para el desarrollo de la HMI. El manual de usuario se lo realizará en Word especificando a detalle la correcta utilización del prototipo, las consideraciones que se deben tener para que el funcionamiento sea el óptimo.

DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS

En el capítulo uno se da a conocer la fundamentación teórica sobre el proyecto, se explica las diferentes normas y tecnologías que se usan para la comunicación inalámbrica. Se habla sobre los sensores, los tipos de sensores que existen según la conexión. También se explica sobre la tecnología LoRa que será la tecnología que se usará en la implementación del proyecto.

En el capítulo dos se describe los aspectos metodológicos para la realización del proyecto los mismos que permite la transmisión de variables industriales. Se detalla el tipo de investigación, las técnicas para la recolección y el análisis de la información que servirá para realizar el diseño.

El capítulo tres, abarca una descripción y análisis de la propuesta de solución, los equipos y elementos necesarios para el desarrollo de este proyecto así también los beneficios tanto económicos, tecnológicos y ambientales, se explica el diseño empleado para el proyecto y las ventajas que se obtienen.

En el último capítulo, contempla el desarrollo de cada nodo transmisor TX y receptor RX y su funcionamiento también se especifican los parámetros de configuración de cada nodo culminando con las pruebas de funcionamiento, el resultado y la implementación del mismo.

Por último, se describen las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos del proyecto.

CAPITULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 REDES INALÁMBRICAS

Una red inalámbrica utiliza ondas electromagnéticas para permitir la interconexión entre dispositivos. El medio por el cual viajan estas ondas electromagnéticas es el aire, por ende, no se necesita de cables para poder transmitir y recibir información.

1.1.1 Tipos de redes inalámbricas

Una red inalámbrica está formada por dispositivos que se comunican entre sí usando tecnología que no requiere el uso de cables para la interconexión. Las redes inalámbricas no son uso exclusivo de empresas, cada vez más, en los hogares se implementan este tipo de redes (Camargo Olivares, 2009).

Para hacer uso de la red inalámbrica se necesita tener instalada una tarjeta de red inalámbrica en las computadoras, hacer las configuraciones necesarias y la red estará en funcionamiento en poco tiempo. En comparación de una red que utiliza un medio físico, las redes inalámbricas permiten su instalación de forma fácil y rápida.

Dependiendo del alcance las redes inalámbricas se clasifican en:

- Rede de área personal inalámbrica (WPAN)
- Redes de área local inalámbricas (WLAN)
- Redes de área metropolitana inalámbricas (WMA)
- Redes de área extendida inalámbricas (WWAN)

1.1.1.1 WPAN

Este tipo de red establece comunicación inalámbrica en dispositivos como teléfonos celulares o laptops que se utilizan dentro del espacio operativo personal. Este espacio operativo es el espacio que rodea a una persona, y aproximadamente tiene un alcance de 10m. Se utiliza para comunicar cualquier dispositivo personal con periféricos como impresoras, bocinas, televisores, etc (Delgado, 2015).



Figura 1.1 WPAN
Fuente: (Delgado, 2015)

La principal tecnología es el Bluetooth, su funcionamiento se basa en ondas de radio de 2.4 GHz para transmitir datos, la distancia máxima idealmente es 100 metros, pero en la realidad abarca unos 10 metros (Delgado, 2015).

1.1.1.2 WLAN

Este tipo de redes esta diseñadas para ofrecer un acceso inalámbrico en un área de cobertura de 100 metros, se utilizan mucho en hogares, escuelas o en oficinas. Con esto las personas pueden moverse dentro del área de cobertura y permanecer conectadas a la red (Salazar Soler, 2016). Esta red se le conoce comúnmente como Wi-Fi, el usuario de esta red puede transmitir y recibir voz, datos, video a velocidades hasta de 54Mbps.



Figura 1.2 WLAN

Fuente: (Salazar Soler, 2016)

1.1.1.3 WMA

Permite la conexión entre dispositivos dentro de un área metropolitana, utiliza ondas de radio o luz infrarroja para la transmisión de datos. El área de cobertura es mayor que la red WLAN, se habla de hasta 50km entre estaciones base, permite la conexión de redes WLAN con otras. Se utiliza la tecnología WiMAX para realizar este tipo de redes, principalmente en zonas rurales donde la tecnología ADSL u otras tecnologías de acceso a internet no llegan (Coñapes, 2015).

1.1.1.4 WWAM

Son redes que permiten la conexión y el intercambio de datos entre puntos lejanos que se encuentran a varios miles de kilómetros. Esta tecnología fue desarrollada en sus inicios para la transferencia de voz, pero se desarrollaron protocolos que permiten la transmisión de datos usando esta tecnología (Flores, n.d).

- **CDMA**

Emplea tecnología de amplio espectro y una codificación especial para la transmisión de voz, utiliza una codificación digital y técnicas de RF, pero provee una baja calidad de voz comparada con las actuales redes móviles.

Utilizando codificación digital y técnicas de frecuencias de radio de espectro amplio (RF), CDMA provee una baja calidad de voz comparada con las actuales redes móviles.

- **GSM**

El sistema GSM nace con el fin de estandarizar el sistema de comunicaciones móviles celulares. Son conocidos como sistemas de segunda generación y tienen ciertas capacidades para la transmisión de datos. Pero para ofrecer servicio de datos se crea las redes celulares 3G (Coñapes, 2015).

- **3G**

Es la sucesora del GSM, es la tecnología de tercera generación, se desarrolló esta tecnología porque GSM no podía seguir evolucionando para brindar servicios de multimedia, velocidades de acceso a internet alta. Con 3G permite a los usuarios tener acceso a esas características, además, de emplear el internet para la transmisión de audio y video en tiempo real, y la calidad de la transmisión de voz es equiparable al servicio que ofrece las redes fijas (Flores, n.d).

- **4G**

Esta tecnología se basa en el protocolo IP, la diferencia con sus predecesoras es la capacidad que tiene para proveer velocidades de acceso a internet mayores a 100 Mbit/s, manteniendo la calidad de servicio permitiendo ofrecer servicios en cualquier lugar y momento (Flores, n.d).

1.1.2 Estándares

Los estándares son reglas o lineamientos que se siguen para asegurar que el servicio o producto cumpla con las mismas normas en cualquier parte del mundo. Los estándares son usados por los vendedores para garantizar un nivel de calidad y seguridad (Escudero, 2007).

Existen estándares abiertos y cerrados, los estándares abiertos están disponibles para cualquier persona, mientras que los estándares cerrados están disponibles bajo términos restrictivos establecidos en un contrato por la organización que desarrollo el estándar. Es decir, no está disponible para el público en general.

El estándar abierto permite la compatibilidad entre sistemas a nivel de hardware y software porque puede ser implementado por cualquier persona. Cualquier persona que posee los conocimientos adecuados puede desarrollar su propio producto siguiendo el estándar y este será compatible y podría trabajar con otros productos o sistemas que hayan seguido el mismo estándar.

No hay que confundir que los estándares abiertos sean todos gratis, existen algunos estándares abiertos que deben pagar la licencia o regalías por el uso del estándar. Como ejemplo se tiene los estándares publicados por los organismos de estandarización internacional como, ISO, UIT y la IEEE, que son considerados abiertos, pero no siempre se los puede obtener gratis.

El instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) es una organización internacional líder en el campo de los estándares internacionales, referente a las telecomunicaciones, la generación eléctrica y la tecnología de la información (Escudero, 2007).

1.1.2.1 IEEE 802 LAN/MAN

Es una familia de estándares de las redes LAN y MAN, en este protocolo se relaciona con la capa física y de transporte del modelo OSI. El estándar que compete a las redes de área local inalámbricas es la IEEE 802.11.

1.1.2.2 IEEE 802.11

Es un estándar que se encuentra en continua actualización porque existen diversos grupos que trabajan en mejorar el estándar partiendo de las especificaciones originales. En un principio el estándar fue diseñado para redes WLAN, pero con la necesidad de conectar dispositivos sin cables y a una velocidad de transmisión alta, se han planteado la creación de redes inalámbricas de mayor cobertura (Yunquera, n.d).

El estándar se divide en dos capas que permiten que un solo protocolo de datos pueda ser usado con diferentes métodos de transmisión. Para enviar los datos se utilizan medios como infrarrojos (IR), espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS), espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) o por multiplexión por división ortogonal (OFDM) (Yunquera, n.d).

En el estándar IEEE 802.11 trabajan diferentes grupos que desarrollan diferentes temas relacionados con el 802.11, estos grupos se enlistan a continuación:

- 802.11a: estándar para WLAN trabajando en la banda de 5 GHz, se le conoce también como Wi-Fi5.
- 802.11b: estándar para WLAN trabajando en la banda de 2.4 GHz, se le conoce también como Wi-Fi.
- 802.11c: provee documentación sobre procedimientos de la MAC.
- 802.11d: define nuevos requerimientos para la capa física para que se pueda utilizar en países que no tienen la banda 2.4 GHz libre.
- 802.11e: trabajan en aspectos que se relacionan con la calidad del servicio.
- 802.11f: permite la intercomunicación entre puntos de acceso de diferentes fabricantes.
- 802.11g: desarrollan una extensión del 802.11b con el objetivo de alcanzar los 54 Mbps.
- 802.11h: evolución del 802.11a que permite asignar los canales de forma dinámica, y tener un control automático de la potencia para evitar interferencias.
- 802.11i: incorpora mecanismos de seguridad a las redes inalámbricas, mejora los mecanismos de autenticación.

1.1.2.3 IEEE 802.11b

Se conoce como Wi-Fi y se creó para tener una tasa de transmisión mayor en la banda de 2.4 GHz. Opera a velocidades hasta de 11 Mbps y permite una funcionalidad comparable a la red Ethernet. La modulación que utiliza es DSSS con un sistema de codificación CCK, y es el estándar más extendido en WLAN. Existe un problema con este estándar, que es la utilización de la banda 2.4 GHz porque otros estandartes emplean esa misma banda, y genera interferencias (Yunquera, n.d).

1.1.2.4 IEEE 802.11a

Opera en tasas de transmisión de hasta 54 MBps en la banda de 5 GHz, utiliza la modulación OFDM, dividiendo la información en pequeños paquetes que se transmiten en diferentes canales simultáneamente. La aceptación del estándar está por debajo del 802.11b debido a su complejidad y al elevado costo de sus equipos, se utiliza la banda 5 GHz porque esta menos saturada que la 2.4 GHz. Utiliza frecuencias altas para la transmisión de la información, esto produce que exista mayores pérdidas de propagación, además de utilizar más energía (Yunquera, n.d).

1.1.2.5 IEEE 802.11g

Este estándar opera en la banda de 2.4 GHz y alcanza velocidades de transmisión de 54 Mbps, la diferencia con el estándar 802.11b es que utiliza la modulación OFDM. El 802.11g es compatible con el 802.11b, y permite la actualización al pasar de una norma a otra (Yunquera, n.d).

1.1.2.6 IEEE 802.11n

Conjuntamente con la tecnología, los estandartes van evolucionando y mejorando las prestaciones de servicios. Con ello se crea nuevos estandartes como el 802.11n que opera en la banda de 2.4 GHz y 5 GHz, alcanza tasas de conexión de 600 Mbps. Incorpora tecnología MIMO (múltiples entradas- múltiples salidas) que permite manejar mayor información, también incorpora la tecnología Channel Bonding la cual permite utilizar dos

canales separados sin solapamiento para la transmisión de datos simultáneamente. Es compatible con las versiones anteriores del estándar, para conectarse a la red se necesita un adaptador Wi-Fi integrado (Ranchal, 2014)

1.1.2.7 IEEE 802.11ac

Este estándar recoge todas las mejoras de sus predecesoras y las tasas de conexión llegan hasta los 3 Gbps, y se mantiene usando la banda de 5 GHz, pero aumento el ancho de banda a 160 MHz. Soporta MIMO multiusuario lo que permite enviar información hasta cuatro usuarios que están conectados a la red al mismo tiempo, sin reducción de velocidad. Consume menos energía por lo que los equipos como laptops, tablets, teléfonos móviles que utilizan baterías pueden hacer uso de este estándar (Álvarez R. , 2016).

1.2 SENSORES

Un sensor es un dispositivo que detecta o sensa manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, entre ellos, la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Existen muchos tipos de sensores (de tacto, luz, temperatura, magnéticos, de ángulo, etc.). Los sensores son capaces de transformar un estímulo físico (sonido, luz, calor, presión) en una variación eléctrica (Cedres, s.f).

1.2.1 Tipos de sensores

Los avances tecnológicos han abarcado al mundo del sensado, los sensores en la actualidad pueden ser de dos tipos: Sensores alámbricos y Sensores inalámbricos.

1.2.1.1 Unidades o Sensores inalámbricos

Las unidades o sensores inalámbricos son dispositivos que trabajan sin cables, su función es la de detectar o sensar manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como: energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Las unidades o sensores inalámbricos están compuestos por un sensor, un sistema para transmitir los datos vía

inalámbrica y baterías incorporadas para su autoalimentación, estos ofrecen posibilidades de acceder a lugares y aplicaciones en donde el cable no llega.

Los sensores inalámbricos son una nueva tecnología en el campo industrial, estos sensores y otros dispositivos son conectados a una plataforma de computadoras formando lo que se conoce como ‘red de sensores inalámbricos’, de la cual se hablará posteriormente, permitiendo así el control, supervisión y recolección de datos usando la tecnología inalámbrica de radiofrecuencia (RF) (Zepeda Solís, 2008).

Las unidades o sensores inalámbricos poseen las siguientes ventajas:

Entregan información de los activos de forma exacta y confiable a un costo más bajo usando la tecnología inalámbrica de radiofrecuencia

Rompen las barreras para monitorear variables en áreas donde tradicionalmente es muy costoso, dificultoso o que consumen alto tiempo de implementación

Las unidades inalámbricas, extienden la medición en línea para:

- Mejorar la calidad
- Asegurar alta funcionalidad
- Reducir los costos operacionales y de mantenimiento
- Reducir los altos costos producto de los hurtos de cableado
- Confiabilidad en la transmisión de datos.

1.2.1.2 Selección de sensores inalámbricos

Para seleccionar sensores inalámbricos existen consideraciones que se debe tomar en cuenta. El tipo de medida, la precisión y tiempo de respuesta, el rango y la frecuencia. Los sensores inalámbricos están diseñados específicamente para censar una variable física.

Al ser una comunicación inalámbrica las lecturas realizadas por el sensor se envían cada cierto tiempo (segundos) para ahorrar energía, si lo que se requiere es tener una transmisión instantánea se debe seleccionar el dispositivo que posea estas características ya que muchos no la tienen. La precisión de los sensores inalámbricos es equiparable a la de los sensores que utilizan cableado (Omega, n.d).

El alcance es otro factor a tomar en cuenta, existe sensores para corto alcance (hasta 100m) y también hay los que pueden transmitir la información a un receptor que se encuentre ubicado a varios kilómetros de distancia. Pero el alcance de la señal inalámbrica estará siempre limitado por las interferencias como paredes, estructuras, arboles, que reducen la fuerza de la señal y disminuyen el alcance (Omega, n.d).

Dependiendo de cada país, el radio de frecuencia que está libre y puede ser usado varia, por lo que si se quiere hacer uso de una frecuencia en específico se debe obtener una licencia de funcionamiento (Omega, n.d).

1.3 REDES DE SENSORES INALAMBRICOS

Los sistemas de redes de sensores inalámbricas (WSN) constituyen una red con varios dispositivos distribuidos en diferentes locaciones. Estos dispositivos son sensores que monitorizan y permiten controlar las diversas condiciones en la que se desarrolla un proceso. Los sensores son unidades autónomas que tiene un microcontrolador, una fuente de energía, un radiotransceptor y el elemento sensor (Aakvaag & Frey, 2006).

Al tener una fuente de energía como baterías, los dispositivos se construyen teniendo en cuenta la conservación de la energía. Por ello pasan la mayor parte del tiempo en modo “sleep” que es un modo de bajo consumo de potencia. La red está conformada por nodos (dispositivos) que se auto organizan en redes ad hoc, por lo que no se necesita tener una topología de red previamente configurada.

Una característica de las WSN es la capacidad de auto restauración que posee, es decir si algún nodo falla, la red se reconfigura para encontrar un nuevo camino por el cual pueda enviar la información. En la industria todo sensor es importante, no debe fallar ninguno o el proceso que está monitoreando podría resultar afectado. Por ello, al aplicar un sistema WSN ningún nodo debe dañarse, y si se daña o empieza a fallar es mejor reemplazarlo (Aakvaag & Frey, 2006).

El tiempo en las aplicaciones industriales es un factor que se debe considerar, mientras que los sistemas normales de WSN puede tomar un tiempo indeterminado desde el origen hasta su destino, en la industria la aplicación de sistemas WSN requerirá de

limites rigurosos del tiempo máximo de demora permitida para la transmisión de información.

En la industria existen la topología que se usa comúnmente para los sistemas WSN es la topología de estrella en la cual los nodos inalámbricos se comunican con un Gateway que permite la comunicación con una red cableada. Una tendencia que se está empezando a usar es la de tener routers que se comunican con el Gateway, con esto los sensores establecen comunicación punto a punto con los routers y se mejora el rango y la redundancia de la red.

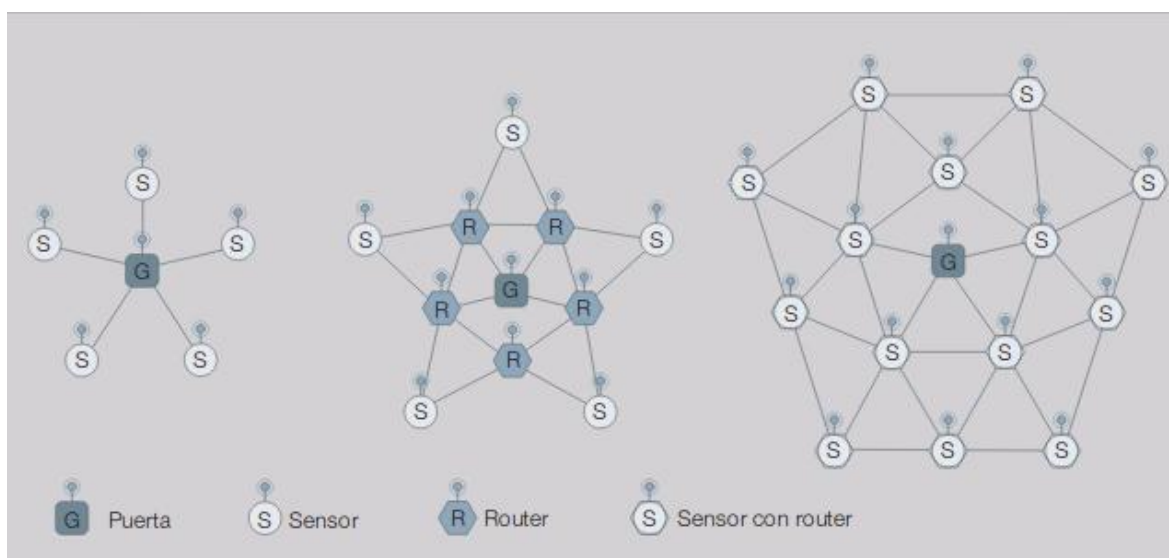


Figura 1.3 Topología estrella del sistema WSN

Fuente: (Aakvaag & Frey, 2006)

1.3.1 Componentes de una WSN

Una red de sensores inalámbricos tiene una estación base que es la encargada de recoger los datos provenientes del sensado de los dispositivos o nodos. Las rutas que siguen la información y los protocolos de comunicación que se utilizan, se implementan en software y se ejecuta en microcontroladores de gama baja.

- **Sensor:** Es un dispositivo que detecta propiedades físicas, biológicas, químicas del medio en el que se encuentra y convierte estas propiedades en una señal eléctrica.

- **Transceptor:** Cada nodo posee una unidad de transceptor que se encarga de la comunicación inalámbrica.
- **Microcontrolador:** Es un chip el cual tiene un bajo costo y se utiliza para controlar, procesar la información y almacenarla de ser necesario, se puede decir que es una computadora en miniatura.

1.3.2 Normas

1.3.2.1 Bluetooth

Este estándar es una opción popular y se encuentra disponible para que cualquier persona lo pueda usar. El Bluetooth está diseñado como una red inalámbrica de área personal, se han implementado redes de sensores usando esta norma (Garbarino, 2012). Para ello se utilizó un nodo maestro y siete nodos esclavos, existen inconvenientes al utilizar este estándar en este tipo de sistemas:

- Siempre se debe tener un nodo maestro
- Cantidad limitada de esclavos que soporta
- Si se implementa una red muy compleja se necesita de un número enorme de nodos maestros.
- Un nodo esclavo siempre debe permanecer encendido, ocasionando pérdida de energía.
- Los rápidos saltos de frecuencia requieren de una sincronización entre nodos.

1.3.2.2 Wi-Fi

Es otro estándar popular que puede ser implementado para comunicar la red de sensores inalámbricos, pero como sucede con el Bluetooth, también presenta inconvenientes (Garbarino, 2012):

- Los nodos deben estar siempre escuchando el medio
- Los nodos deben estar en constante escucha y búsqueda de los paquetes RTS y CTS para ajustar sus temporizadores NAV.

- Tiene algunas funcionalidades de ahorro de energía y se orientan a altas tasas de transmisión, pero los transceptores requieren de una cantidad de energía que no es aceptable en aplicaciones de WSN.
- No se puede implementar el salto múltiple que es lo que se usa en WSN.

1.3.2.3 ZigBee

Este estándar de comunicación está orientado a aplicaciones que tienen bajas tasas de transmisión de datos, en las que se requiere que la batería dure bastante tiempo y sea de bajo costo (Garbarino, 2012). Entre estas aplicaciones se encuentran:

- Domótica
- Control remoto de algún sistema
- Monitoreo del consumo energético y de agua en casas
- Monitoreo de la salud de los pacientes

El estándar está definido en capas de protocolos que se basan en el modelo OSI, y adoptando la capa física y de acceso al medio, define las capas de servicio de red, aplicación y seguridad (Garbarino, 2012).

1.3.2.4 IEEE 802.15.4

Este estándar está orientado a aplicaciones de redes de sensores inalámbricas, domótica, redes del hogar, entre otras. Las aplicaciones requieren de tasas de transferencia bajas y con consumo de energía lo más reducido posible (Garbarino, 2012). El estándar fue definido para las Telecomunicaciones y el intercambio de información entre sistemas locales y redes WAN (Nayibe, Alexander, Cristina, & Miguel, 2011). Tomando como referencia el modelo OSI, este estándar trata la capa 2 (enlace de datos), en el cual la información digital es organizada y gestionada para luego ser transformada en impulsos electromagnéticos por la capa física. Las frecuencias y el número de canales que el estándar establece se presentan en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Frecuencias del estándar 802.15.4

Frecuencia	Número de Canales	Cobertura
868.0-868.6 MHz	1	Europa
902.0-928.0 MHz	10	Estados Unidos
2.40-2.48 GHz	16	Todo el mundo

Fuente: (Nayibe, Alexander, Cristina, & Miguel, 2011)

Para evitar colisiones y pérdida de información cuando transmiten los nodos, el estándar establece dos técnicas CSMA-CA y GTS. La técnica CSMA-CA consiste en hacer que cada nodo analice la red antes de transmitir. La técnica GTS utiliza un nodo central que es el encargado de coordinar y determinar el tiempo en el que cada nodo debe transmitir (Nayibe, Alexander, Cristina, & Miguel, 2011).

1.3.2.5 WirelessHART

Es el primer estándar abierto de comunicaciones inalámbricas el cual se enfoca en aplicaciones de control de procesos. Las redes WirelessHART son un tipo especial de WSN, la diferencia con las redes de sensores inalámbricas normales es que los nodos están conectados a dispositivos de campo que recogen datos específicos de los procesos, y tiene redundancia limitada. Además, de tener requerimientos de tiempo estricto porque se monitorean procesos industriales y se necesita conocer de forma inmediata las variaciones que sufre un proceso (Garbarino, 2012).

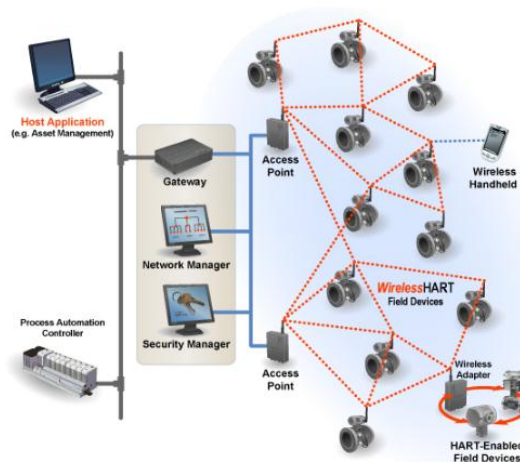


Figura 1.4 Red WirelessHART

Fuente: (Garbarino, 2012)

1.4. IOT

La tecnología se desarrolla para hacer la vida del ser humano más sencilla, por ello siempre está en constante evolución para solventar problemas que se presentan en el día a día. Por ello se ha creado el Internet de las cosas que permite realizar diferentes aplicaciones que sirvan para el beneficio del ser humano.

El internet de las cosas se refiere a todos los dispositivos del ámbito cotidiano que se encuentran conectados a Internet, y poseen cierto nivel de inteligencia. Con el IoT los diferentes dispositivos podrán comunicarse con otro dispositivo que se encuentre a su alrededor y ejecutar una tarea específica.

La aplicación de la IoT es amplia, y se puede conectar un sinnúmero de dispositivos a la red (vehículos, electrodomésticos, sensores, ropa, wearables, etc.). Pero esto representa un problema porque a cada dispositivo se debe asignar una dirección IP que permita conectarse a la red. Actualmente se utiliza el protocolo IPv4 para asignar una dirección a cada dispositivo, con la llegada del IoT este protocolo no da abasto para todos los dispositivos. En vista a esto se desarrolló un nuevo protocolo, el protocolo IPv6 que permite asignar 2^{128} direcciones IP (Alcaraz, 2014).

1.4.1 Áreas de Aplicación

El desarrollo de aplicaciones es ilimitado y se puede aplicar a cualquier campo, como educación, salud, hogar, etc. El límite es el ingenio y la creatividad que tengan los desarrolladores.

1.4.1.1 Hogar

La aplicación más difundida y conocida en esta área es el Smart TV, que tiene acceso a internet y se puede ver series, películas, consultar redes sociales. Otra aplicación que no es tan difundida son los electrodomésticos inteligentes, que aprovechan los sensores y la conexión a internet para ofrecer a los usuarios nuevas posibilidades. Una aplicación sería la de controlar los productos que contiene la refrigeradora y elaborar una lista de los productos que están por terminarse y enviarla al dueño para notificarle.

Para el control y automatización de los sistemas de las casas, con dispositivos como focos inteligentes que se pueden controlar remotamente desde el celular. También se puede tener sensores que monitoricen las condiciones ambientales y dependiendo de las condiciones aumentar o disminuir la intensidad de la luz o prender la calefacción.

Se puede monitorear el estado de la casa, verificar si se ha dejado prendida las luces, o la hornilla de la cocina sigue encendida. Además, se puede instalar un circuito cerrado y enviar las imágenes por internet al Smartphone para que el dueño monitoree la casa cuando este no se encuentre.

1.4.1.2 Ciudades

En las aplicaciones en las ciudades se puede mencionar el control y monitoreo del tráfico, en todas las ciudades se producen congestiones vehiculares por la mala organización del flujo vehicular. Con el IoT se puede implementar un sistema de control inteligente que reúna información de cámaras de vigilancia, de los semáforos y de los propios vehículos, de esa forma se puede determinar el tiempo de encendido de las luces del semáforo.

Los sistemas de alumbrado podrían funcionar automáticamente según las condiciones meteorológicas, la recolección de basura puede mejorarse al instalar sensores en cada depósito y monitorear el nivel de basura, de esa forma el carro recolector sabrá exactamente a donde dirigirse evitando realizar un trayecto innecesario.

1.4.1.3 Vehículos

Los automóviles actualmente constan con sensores que controlan el nivel de aceite, la presión del líquido de frenos, sensores para saber la presión de los neumáticos, entre otros más. Estos datos pueden enviarse haciendo uso del IoT a los concesionarios en donde se realiza el mantenimiento del vehículo y saber de antemano que está mal, y corregirlo de forma rápida y eficiente.

1.4.1.4 Salud

En este campo, la aplicación de esta tecnología ayudaría a muchas personas, con el uso de biosensores que monitoreen diferentes variables relacionadas con la salud del paciente. Con ello podrían llevar una vida más sana y evitar enfermedades, con el uso de sensores como relojes inteligentes que monitorean el pulso de la persona, se puede recolectar información y enviar al médico de cabecera de la familia para que los analice.

Para el cuidado de adultos mayores ya que son propensos a sufrir caídas y no siempre existe personas que estén pendientes de ellas. Podrían llevar dispositivos que monitoreen los signos vitales y si existe algún patrón anormal en ellos avisar al médico o a la familia.

1.4.1.5 Agricultura

En la agricultura se puede utilizar para realizar un control mucho más preciso del que se realiza hoy en día. Se puede monitorear las condiciones del suelo en tiempo real, como la humedad, pH y diversos factores más. Pero también se podría monitorear a los animales, para saber cuánto están comiendo, saber el estado de salud y hasta rastrearlos para saber dónde se encuentran.

1.4.1.6 Industria

En la industria se puede usar para la optimización de la cadena de producción, al ubicar diferentes sensores en las maquinas que se encargan de realizar algún proceso. De esta forma se monitorearía de forma constante y si existe algún comportamiento anómalo notificar al operario para que lo revise y corrija el problema.

Puede facilitar la tarea del inventario, porque cada producto tendría su propio dispositivo que se conecta a la red y transmitir las características que posee el producto. De esta manera se realizaría controles precisos sobre la cantidad de elementos que se dispone y además se sabría el lugar exacto donde se encuentra determinado producto.

Con la mejora del inventario los mecanismos de abastecimiento también se mejorarían, porque se tendría información precisa de cuantos productos quedan y se puede realizar el pedido para abastecerse oportunamente.

1.4.2 Costos

Los dispositivos que existen tendrían que cambiarse porque carecen de los medios para recolectar información que antes no se llegó a considerar por la limitación de la tecnología. Como ejemplo se tiene los SmartWatch que permiten monitorear el ritmo cardiaco y monitorear las horas de sueño, los relojes análogos van siendo desplazados con el pasar del tiempo. Al principio supondrá un costo elevado el ir actualizando los dispositivos, pero con el tiempo los costos disminuirán y serán accesibles para todas las personas (Alcaraz, 2014).

1.4.3 Estándares

Para la implementación del IoT se necesita que los dispositivos de diferentes fabricantes deban poder comunicarse entre sí. Para ello es necesario establecer protocolos y estándares que puedan ser utilizados por todos los involucrados en esta tecnología. Existe un consorcio sin fines de lucro denominado AllSeen Alliance el cual busca que se adopten herramientas estándares para el internet de las cosas. Este grupo brinda una guía para la utilización de productos, sistemas y servicios que soporten el IoT. Ellos han desarrollado el framework AllJoin que cuenta con una comunidad técnica amplia que brinda soporte y está desarrollando nuevas aplicaciones. Los miembros de este consorcio son empresas como Qualcomm, Sony, LG, Microsoft entre otros (Alcaraz, 2014).

Thread es un protocolo de red con características de seguridad y de bajo consumo energético. Este protocolo está basado en IPv6 y permite la conexión entre dispositivos y también entre dispositivos y la nube. Se diseñó para ser usado en aplicaciones en el hogar como el control de climatización, para gestionar la energía que consume el hogar (Thread Group, 2018).

Industrial Internet Consortium formado por Intel, Cisco, AT&T, GE e IBM tienen la meta de desarrollar estándares específicos para el IoT pero en aplicaciones industriales. De esta forma se puede acelerar la disponibilidad de la automatización industrial inteligente, y será accesible para diferentes empresas en cualquier parte del mundo (Industrial Internet Consortium, 2018).

1.4.4 Seguridad y Privacidad

Es el aspecto que hoy en día se cuestiona mucho, no solo para el internet de las cosas, sino en todo el Internet. Cuando las personas se encuentren rodeadas de objetos conectados al IoT pueden no percatarse de que están transmitiendo información de las actividades que hace esa persona. Y más importante es no saber quién puede estar recolectando esa información sin consentimiento. Habrá información sensible que no está pensada para ser compartida como conversaciones, datos sobre el estado bancario, datos del estado de salud, entre otros (Castro, 2016).

Existen personas mal intencionadas con el suficiente conocimiento para robar esa información que se recolecta en el IoT, aprovechándose de vulnerabilidades en los sistemas. La información puede ser usada para el chantaje, para robar o para acosar a personas y hasta para hacer daño a la integridad de las personas.

Existe un peligro latente al ser sistemas que involucran automatización y control, organizaciones terroristas pueden apoderarse de esos sistemas y utilizarlos de forma que sea provechosa para ellos. Los ataques mediante internet no son algo nuevo, ya se han cometido estafas, robos de datos bancarios, robo de información de empresas. Los sistemas de seguridad deben avanzar y mejorar para adaptarse a estas nuevas tecnologías y ofrecer seguridad a los usuarios.

En el 2014 la empresa HP (Hewlett Packard) realizó un estudio sobre la seguridad en los dispositivos IoT más populares, el resultado arrojó que el 90% de los dispositivos recolectan información personal del usuario. El 70% de esos dispositivos transmiten la información sin ninguna encriptación que proteja los datos (Alcaraz, 2014).

1.5 LORA

Es una tecnología inalámbrica que utiliza la modulación en frecuencia, es de largo alcance y tiene bajo consumo energético. En la utilización del IoT es la red predominante alrededor del mundo, porque utiliza espectro de frecuencia de uso público. Utiliza la modulación de espectro ensanchado en la banda lo que permite que alcance distancias mayores a 10 Km (Useche, Camilo, Leguizamo, & Estiven, n.d).

Para la utilización de la red con sistemas IoT existen dos formas:

- **Crear una propia red:** Es necesario comprar los chips LoRa y hacer los nodos, además de configurar el Gateway. La ventaja es que el usuario podrá hacer la red según sus necesidades.
- **Usar un operador de red:** Varias operadoras ofrecen las redes LoRaWAN en ciertas aéreas, se pueden contratar planes de conectividad como se hace con el internet móvil para celulares. La desventaja es que el operador puede dejar de ofrecer el servicio (AlfaIOT, 2018).

1.5.1 LoRaWAN

Es un protocolo de red que utiliza la tecnología LoRa para realizar la comunicación y la administración de los dispositivos LoRa. Se compone de dos partes, el Gateway y los nodos. Los nodos envían y reciben la información al Gateway, y el Gateway se encarga de recibir y enviar la información a los nodos (Beelan, 2017).

En la figura 1.5 se observa la estructura de una red LoRaWAN en la que se tiene nodos que se conectan al Gateway y le envían información, y a su vez estos envían la información a un servidor. Haciendo uso de una API se entregan los datos a una aplicación para que el usuario pueda visualizar los datos.

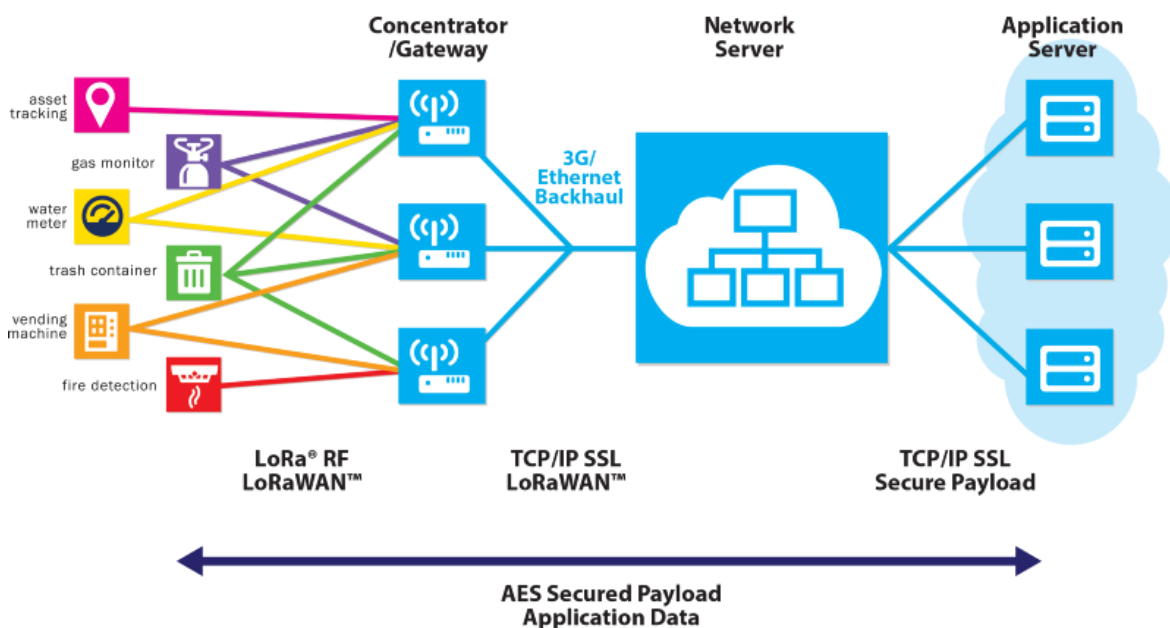


Figura 1.5 Estructura de la red LoRaWAN

Fuente: (Beelan, 2017)

1.5.1.1 Clases de Nodo

Existen diferentes dispositivos para atender las diferentes necesidades de los usuarios para ser usados en diferentes aplicaciones.

- Clase A: son dispositivos que permiten la comunicación bidireccional, y ofrecen el mayor ahorro de energía porque después de enviar datos al Gateway entra en modo escucha, que ahorra energía.
- Clase B: son dispositivos con comunicación bidireccional y con la opción de programar la recepción de datos en el horario que el usuario requiera.
- Clase C: dispositivos con comunicación bidireccional, pero con el menor ahorro de energía, porque siempre están en modo escucha, y cuando desean transmitir información cambian al modo transmitir, para este tipo de dispositivos se recomienda hacer uso de una fuente de alimentación y no baterías como en los casos anteriores.

1.5.1.2 Conexión

Para conectarse a una red LoRaWAN existen dos formas, ABP y OTAA.

El modo OTAA ofrece mayor seguridad porque tiene diferentes parámetros de autenticación.

- DevEUI: es un identificador del dispositivo, esto lo hace unico, no hay otro dispositivo con el mismo identificador.
- AppEUI: es el identificador de aplicación, se puede agrupar a los dispositivos por aplicación y utiliza una dirección de 64bits.
- AppKey: es una clave de 128 bits que se utiliza para que un nuevo dispositivo ingrese a la red.

La ventaja de este modo de conexión es la seguridad porque la conexión entre el dispositivo y la red se renueva cada vez que el dispositivo pierde la conexión, es reiniciado o apagado (Beelan, 2017).

El modo ABP es el modo más sencillo de conexión y tiene los siguientes parámetros:

- DevAddress: Es la dirección lógica del dispositivo, es equivalente a la dirección IP de un dispositivo.
- NetworkSessionKey: Es la clave de cifrado entre el dispositivo y el operador que se utiliza para la transmisión de datos.
- ApplicationSessionKey: es la clave de cifrado entre el dispositivo y el operador mediante la aplicación que se utilice.

La ventaja de este modo de conexión es que no requiere hacer un pedido para unirse a la red como el modo OTAA, esta conexión se utiliza cuando el dispositivo está en movimiento o no tiene una buena señal con el Gateway. La desventaja es que la llave de encriptación se encuentra en el dispositivo y puede ser clonada por alguna persona mal intencionado (Beelan, 2017).

CAPITULO 2

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describirán los aspectos metodológicos necesarios para la realización del proyecto que permita el monitoreo de variables industriales, se detalla el tipo de investigación, las técnicas para la recolección y el análisis de la información que servirá para realizar el diseño.

2.1.MARCO METODOLÓGICO

El tipo de investigación que se realizó es del tipo proyectiva porque se desea dar una solución a un problema de tipo práctico, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades que tiene la empresa o institución (Hurtado de Barrera, 2008). Utilizando los avances tecnológicos que se tienen en la actualidad se busca dar solución al problema que es la de transmisión de variables industriales para monitorear un proceso que se encuentre en zonas rurales en la que no cuenten con internet.

También se utilizó la investigación descriptiva, en este tipo de investigación se recolecta información que se encuentra relacionada con el estado real de una situación, fenómeno, empresa o institución (Córdova & Monsalve). Para ello se utilizó diferentes recursos para la recolección de datos importantes de las necesidades que tiene la empresa y de su situación actual.

Otro tipo de investigación que se realizó fue la de campo, porque se estuvo presente en el lugar de trabajo para verificar las necesidades que enfrentan los trabajadores para realizar la tarea asignada. La investigación de campo permite al investigador verificar y obtener datos del problema que se está estudiando, con ello se puede realizar el levantamiento de la información de manera precisa (QuestionPro, 2019).

Se utiliza el método analítico-sintético para analizar cada parte que conforman el tema propuesto, los protocolos de comunicación, variables industriales, transmisión de datos, y entender cómo funciona cada uno. Para ello se realizará la revisión bibliográfica

con el fin de recolectar información relacionado al tema en libros, revistas, informes, trabajos de grado y papers. Este método se aplica en la formulación de los objetivos, la definición del problema y en la formulación de la hipótesis que se quiere defender (liferder.com, 2019).

2.1.1. Técnicas metodológicas

Para la realización de este proyecto se analizó otros métodos prácticos de la investigación.

El método de observación, es el primer método en ser aplicado, porque permite tener una idea general sobre el problema al cual las personas se enfrentan día a día, y así presentar posibles soluciones que satisfagan las necesidades de las personas (PID - Prácticum E.F., 2019).

El método de revisión documental, la que permite recolectar datos técnicos del campo en el cual se implementara el proyecto, las distancias que debe cubrir y qué servicios se tiene a disposición en el área de implementación (Comunicación e Investigación 3, 2012).

Para la verificación del funcionamiento del proyecto, el método sistémico para la realización de distintas pruebas y de esa forma tener datos que respalden al proyecto y para la validación del cumplimiento del mismo de forma adecuada (INCAE, 2017).

2.2.METODOLOGÍA DEL DESARROLLO

Para el desarrollo del proyecto se debe considerar dividirlo en etapas para realizar de forma ordenada.

- La primera etapa es la recolección de información referente las necesidades que el proyecto debe cumplir.
- La segunda etapa es la creación del hardware del circuito electrónico que permite acoplar la señal de salida normalizada del transductor al prototipo.
- La tercera etapa es la implementación del protocolo LoRa para la transmisión de datos del transductor.

- La cuarta etapa es el desarrollo del HMI para visualizar los valores de las variables que los transductores están midiendo.
- La quinta etapa es la realización de pruebas del proyecto para detectar errores y corregirlos.

Etapa 1

La recolección de la información sobre las características que el prototipo debe tener, la distancia que debe cubrir, la compatibilidad con diferentes transductores con la salida normalizada que es de 4-20 mA, y el protocolo de comunicación que se debe utilizar.

Etapa 2

En esta etapa se realiza la creación del circuito electrónico, para ello se utiliza el software Proteus que permite la simulación de circuitos, y también realiza el diseño del circuito que se montara sobre la baquelita para tener una placa PCB. Este circuito se acoplará al transductor para acondicionar la señal y transmitir los datos hacia una estación que se encuentre a varios kilómetros de distancia.

Etapa 3

En la transmisión de datos se utiliza el protocolo LoRa, para ello se debe configurar los dispositivos que soporten este protocolo, y adaptarlos al circuito que acondiciona la señal que envían los transductores.

Etapa 4

Para visualizar los datos que son transmitidos se crea un interfaz humano maquina o HMI por sus siglas en ingles. La HMI estará en la estación base en la que los operadores monitorean los cambios de las variables censadas.

Etapa 5

Se implementa todo el proyecto y se realizan pruebas las cuales consisten en ir aumentando la distancia progresivamente para cuantificar la afectación de la distancia a los parámetros de distorsión y velocidad de transmisión.

CAPÍTULO 3

PROPUESTA

Luego de investigaciones realizadas y la recolección de datos se determina que el problema en lugares de difícil acceso donde no existe cobertura telefónica y de internet es la comunicación, en este proyecto se determina que el problema principal es el abastecimiento de agua a la parroquia Baños de la ciudad de Cuenca la misma que debe ser revisada constantemente por el personal de forma manual. Estos registros permiten verificar si el abastecimiento es correcto o no, por la distancia a recorrer, el tiempo y el riesgo que corre el personal a tomar de esta forma los datos; se requiere diseñar un dispositivo electrónico que permita medir estos registros de forma automática y fiable además de optimizar recursos humanos y de tiempo.



Figura 3.1 Forma de medición de los niveles de agua

Fuente: Elaborado por el Autor

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Para brindar una solución al problema encontrado en el abastecimiento de agua a la parroquia Baños de la ciudad de Cuenca se requiere estudiar todos los componentes inalámbricos necesarios para recolectar la información de forma automática, tomando en cuenta que en la zona no hay acceso a internet ni señal de telefonía celular, para esto se plantea desarrollar un transmisor usando el protocolo de comunicación LoRa (Long Range Wide Area Network) ya que es inmune a interferencias y al trabajar en un canal de banda libre, no genera costos. Además, diseñar una topología de red que se adapte al medio.

3.2 INFORMACIÓN DE EQUIPOS

La comunicación entre nodos es un elemento principal en este proyecto y para su diseño se necesitan los siguientes equipos.

3.2.1 Modulo LORA

Los módulos LORA empleados en este prototipo tanto para el receptor como para el transmisor son LoRa RN2903, este módulo se escogió ya que permite trabajar en una banda libre y es amigable con el medio ambiente además de soportar temperaturas entre -40° C a +85° C, otra característica importante de este módulo es el bajo consumo de energía pues el voltaje individual es de 2.1V a 3.6V siendo 3.3 V el voltaje promedio.

Este módulo se utiliza para aplicaciones como: lectura automatizada de medidores, sistemas de seguridad, automatización de viviendas, control de la industria, internet de las cosas IoT.



Figura 3.2 Microchip LoRa RN2903

Fuente: (Microchip Technology Inc., 2015-2019)

Físicamente el microchip RN2903 tiene las siguientes dimensiones 17.8 x 26.7 x 3.34 mm y su peso es de 2.05g.

Este módulo posee las siguientes características generales

Tabla 3.1 Especificaciones generales del Módulo RN2903

Especificaciones	Descripción
Banda de Frecuencia	902.000MHz a 928.000 MHz
Métodos de modulación	FSK, GFSK y LoRa [®] Modulación Tecnológica
Interfaz de datos máxima en el aire	300 kbps con FSK y 12500 bps LoRa
Interfaz	UART
Rango de operación	Hasta 15 km en zona abierta y hasta 5 km en zona urbana.
Sensibilidad al 1% PER	-146 dBm
Potencia RF TX	Hasta máx. +18.5 dBm en la banda de 915 MHz
Nivel de armónicos generado	Bajo -70 dBm
Temperatura de funcionamiento	-40°C a +85°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C a +115°C
Humedad	10% a 90% sin condensación

Fuente: Elaborado por el autor

3.2.2 Antena de comunicación

La antena seleccionada para este proyecto es la FW.95 de manufacturación Taoglas. pues aparte de trabajar en un canal de banda libre, trabaja en las mismas frecuencias del módulo LORA RN 2903 utilizado en este prototipo.



Figura 3.3 Antena FW.95

Fuente: (Taoglas Ltd., 2009 - 2018)

La antena FW.95 es muy flexible y trabaja en una banda de frecuencia de 915MHz, posee un conector SMA macho, esta antena se puede emplear en sistemas de monitoreo, sensores de movimiento y monitoreo de contaminantes. El consumo de energía es bajo y presenta una mejora de sensibilidad y potencia en lugares donde la señal es baja.

Esta antena posee las siguientes características:

Tabla 3.2 Características principales antena FW.95

Especificaciones	Descripción
Frecuencia Central	915 MHZ
Entorno de diseño	30 x 30cm sobre suelo
Eficiencia	60.60 %

Ganancia máxima	2.71 dBi
Pérdida en retorno	< -10 dB
Impedancia	50 Ω
Polarización	Lineal
Patrón de radiación	Omni – Direccional
Potencia de entrada	2 W
Rango de temperatura	-40°C a 85°C
Humedad	De 65° C 95% sin condensación

Fuente: (Taoglas Ltd., 2009 - 2018)

Físicamente la antena FW.95 tiene una altura de 226 mm con una base de diámetro de 16 mm, y el diámetro del látigo de 6.2 mm, su peso aproximado es de 38g y posee una resistencia al agua y al polvo IP65.

3.2.3 Sensor de medición

El sensor usado en este proyecto es el sensor LS-10 de versión estándar, ya que permite tomar medidas de niveles de ríos y lagos, en depósitos y almacenamientos; es un sensor robusto, fiable y económico.



Figura 3.4 Sonda de pozo modelo LS-10

Fuente: (wika, 2019)

Las características principales de este sensor son:

Tabla 3.3 Características principales sensor LS-10

Especificaciones	Descripción
Señal de salida	Señal analógica 4 a 20mA
Rango de temperatura	15°C a 25°C
Presión atmosférica	860 a 1060 mbar
Humedad atmosférica	45 a 75 % relativa
Resistencia al polvo y agua	IP 68
Profundidad de inmersión	100m

Fuente: (wika, 2019)

Otros Elementos

Aparte del microchip, la antena y el sensor descritos anteriormente también se emplearon otros elementos para el ensamblaje de los nodos receptor y transmisor.

Para el nodo LoRa Receptor RX se usaron los siguientes elementos

Tabla 3.4 Materiales empleados para el ensamblaje del nodo Receptor RX

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Pins	Quantity
22pF	Capacitor	C1, C2, C3, C4	RAD-0.1	CAP	2	4
10K		R1, R4	AXIAL-0.3	RES1	2	2
18		R3	AXIAL-0.4	RES1	2	1
1K		R5, R6, R11, R12	AXIAL-0.3	RES1	2	4
330		R7	AXIAL-0.3	RES1	2	1
4.7K		R8, R9	R0805	RES1	2	2
1K		R10	R0805	RES1	2	1
SW-PB		S1, S2, S3	PULSA4	SW-PB	2	3
2200uF	Capacitor	C5, C6	C1000UF/25V	CAPACITOR	2	2
11.059200Mhz	Crystal	Y1, Y2	XTAL-1	CRYSTAL	2	2
LED	LED	D1, D2, D5, D6	LED	LED	2	4
1N4007	Diode	D3	DIODE-0.4	DIODE	2	1
RED		D4	LED	LED	2	1
CON2	Connector	J3	AZUL5-2	CON2	2	1
10K	Potentiometer	R2	VR-4	POT1	3	1
LM2577SP		U3	LM2577SP	LM2576T	4	1
PICKIT		J1, J2	PICKIT	PICKIT	6	2
LCD20X4		LCD1	LCD16X2SC	LCD16X2	12	1
MIKROBUS1		M1	LORA CLICK 2	MIKROBUS1	16	1
WIFI		U4	HLK-RM04	HLK-RM04	28	1
18F452		U2	DIP-40	16F871	37	1
16f884		U1	DIP-40	16F871	38	1

Fuente: Elaborado por el Autor

Mientras que para el nodo LoRa Transmisor TX se emplearon:

Tabla 3.5 Materiales empleados para el ensamblaje del nodo Transmisor TX

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Pins	Quantity
22pF	Capacitor	C1, C2	RAD-0.1	CAP	2	2
10K		R1	AXIAL-0.3	RES1	2	1
1K		R2, R3	AXIAL-0.3	RES1	2	2
330		R5	AXIAL-0.3	RES1	2	1
18		R6	AXIAL-0.4	RES1	2	1
220		R7, R8, R9, R10	AXIAL-0.3	RES1	2	4
SW-PB		S1	PULSA4	SW-PB	2	1
2200uF	Capacitor	C3, C4	C1000UF/25V	CAPACITOR	2	2
11.059200Mhz	Crystal	Y1	XTAL-1	CRYSTAL	2	1
LED	LED	D1, D2	LED	LED	2	2
1N4007	Diode	D3	DIODE-0.4	DIODE	2	1
RED		D4	LED	LED	2	1
CON2	Connector	J2	AZUL5-2	CON2	2	1
10K	Potentiometer	R4, R11, R12, R13, R14	VR-4	POT1	3	5
LM2577SP		U2	LM2577SP	LM2576T	4	1
CON4	Connector	J3, J4	AZUL5-4	CON4	4	2
PICKIT		J1	PICKIT	PICKIT	6	1
LCD20X4		LCD1	LCD16X2SC	LCD16X2	13	1
MIKROBUS1		M1	LORA CLICK 2	MIKROBUS1	16	1
18F452		U1	DIP-40	16F871	40	1

Fuente: Elaborado por el autor

3.3 BENEFICIOS DE LA PROPUESTA

La implementación de este proyecto beneficia directamente a la comunidad de la parroquia Baños de la ciudad de Cuenca que hasta agosto del año 2018 contaba con 20.000 habitantes (Blog de WordPress.com, 2019), ya que garantiza el abastecimiento correcto del líquido vital y a la administración pues la última puede contar con más recursos humanos para otras áreas.

3.4 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA

Para el diseño del prototipo y la red se realizó un análisis, el mismo que permite verificar si la propuesta planteada es viable tanto económica como operativamente y contrarrestar con los beneficios que se pueden obtener.

3.4.1 Análisis Ambiental

La expansión de la zona industrial a lugares donde el medio ambiente aún se encuentra en estado puro es suficiente para empezar a proteger el mismo, por medio de controles constantes en los niveles de PH en el ambiente, contaminación de los ríos, la contaminación de los suelos, sin embargo, estas zonas al encontrarse fuera del área de cobertura de internet y de difícil acceso sea por la distancia o su relieve, es muy difícil mantener una lectura constante y actualizada de datos por lo que es necesario implementar dispositivos que permitan la lectura de estos factores para de esta manera tomar correcciones necesarias y así preservar el medio ambiente.

3.4.2 Análisis Técnico

Técnicamente, la implementación de los nodos inalámbricos permite que las lecturas sean realizadas de forma automática eliminando de esta manera la movilización de personal los mismos que pueden ser empleados en otras áreas de las empresas y aumentar su productividad.

3.4.3 Análisis Económico

Económicamente para la junta administradora de agua en la parroquia Baños la implementación de estos nodos significa un ahorro de recursos económicos muy

significativos y tomando en cuenta que se tendrá la información actualizada pues se evita el traslado constante de personal, además los elementos empleados en este prototipo son de bajo costo y los dispositivos de potencia baja

A continuación, se detalla el costo de los elementos empleados en el desarrollo de este prototipo.

3.4.3.1 NODO TRANSMISOR TX

Tabla 3.6 Costos para el ensamblaje del nodo Transmisor TX

LibRef	Quantity	VALOR UNITARIO	TOTAL
CAP	2	\$0,1	\$0,2
RES1	1	\$0,03	\$0,03
RES1	2	\$0,03	\$0,06
RES1	1	\$0,03	\$0,03
RES1	1	\$0,03	\$0,03
RES1	4	\$0,03	\$0,12
SW-PB	1	\$0,15	\$0,15
CAPACITOR	2	\$0,35	\$0,7
CRYSTAL	1	\$0,85	\$0,85
LED	2	\$0,1	\$0,2
DIODE	1	\$0,1	\$0,1
LED	1	\$0,1	\$0,1
CON2	1	\$2	\$2
POT1	5	\$0,85	\$4,25
LM2576T	1	\$5	\$5
CON4	2	\$3	\$6
PICKIT	1	\$0,6	\$0,6
LCD16X2	1	\$7,5	\$7,5
MIKROBUS1	1	\$90	\$90
16F871	1	\$15	\$15
PLACA	1	\$70	\$70
CASE	1	\$20	\$20
SUELDA	1	\$4,11	\$4,11
IMPREVISTOS	1	\$10	\$10
TOTAL			237,03

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.3.2 Nodo Receptor RX

Tabla 3.7 Costos para el ensamblaje del nodo Receptor RX

LibRef	Quantity	MATERIAL	TOTAL
CAP	4	\$0,1	\$0,4
RES1	2	\$0,03	\$0,06
RES1	1	\$0,03	\$0,03
RES1	4	\$0,03	\$0,12
RES1	1	\$0,03	\$0,03
RES1	2	\$0,1	\$0,2
RES1	1	\$0,1	\$0,1
SW-PB	3	\$0,15	\$0,45
CAPACITOR	2	\$0,35	\$0,7
CRYSTAL	2	\$0,85	\$1,7
LED	4	\$0,1	\$0,4
DIODE	1	\$0,1	\$0,1
LED	1	\$0,1	\$0,1
CON2	1	\$2	\$2
POT1	1	\$0,8	\$0,8
LM2576T	1	\$5	\$5
PICKIT	2	\$0,6	\$1,2
LCD16X2	1	\$7,5	\$7,5
MIKROBUS1	1	\$90	\$90
HLK-RM04	1	\$50	\$50
16F871	1	\$15	\$15
16F871	1	\$8	\$8
SUELDA	1	\$6,4	\$6,4
PLACA	1	\$70	\$70
CASE	1	\$20	\$20
IMPRESVISTOS	1	\$25	\$25
TOTAL			\$305,29

Fuente: Elaborado por el autor

Una vez descrito los valores utilizados para el desarrollo de los nodos el costo total para el desarrollo del prototipo es:

Costo Total

Tabla 3.8 Costo total del proyecto

Descripción	Valor
desarrollo ethernet	\$305,29
desarrollo placa	\$237,03
desarrollador	\$600
TOTAL	\$1142,32

Fuente: Elaborado por el autor

3.5 ANÁLISIS DE TIEMPO

El tiempo para el desarrollo del prototipo propuesto se requieren

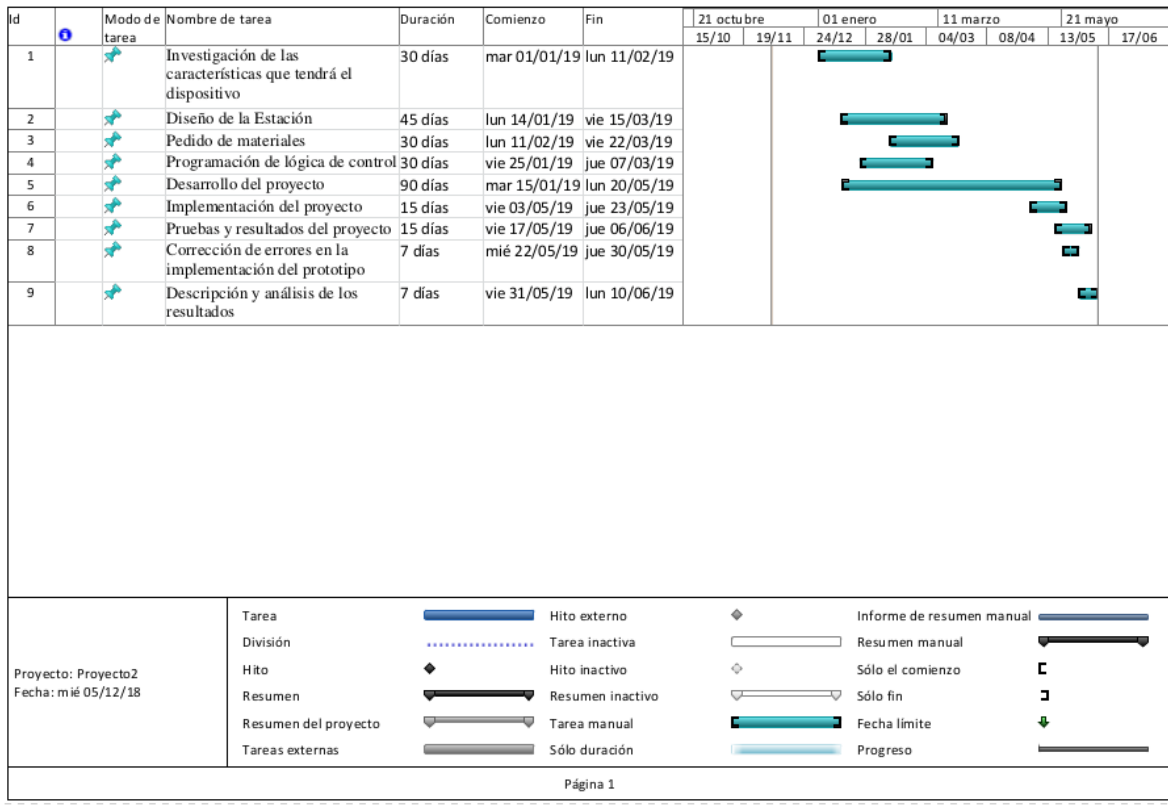


Figura 3.5: Cronograma de proyecto

Fuente: Elaborado por el autor

3.6 DISEÑO

Para la Transmisión de variables industriales basadas en protocolo LoRa para largas distancias, se diseña un prototipo; el mismo consta de dos nodos: nodo Receptor RX y nodo Transmisor TX, el nodo Receptor RX van hacer instalado en la oficina administrativa que se encuentra en la calle Ricardo Durán plaza central de Baños mientras que el nodo Transmisor va hacer instalado en los tanques de abastecimiento de agua, hay que tomar en cuenta que en este lugar no existe cobertura telefónica ni de internet y la distancia en que se encuentran es de 1.4 km.



Nodo Transmisor TX en tanques de

Nodo Receptor RX en oficina administrativa

Cada nodo será instalado en un case de estructura metálica la misma que protege a los componentes internos.

3.7 VENTAJAS DEL PRODUCTO

La tecnología LoRa se puede emplear en varias aplicaciones como son: automatización de viviendas, internet de las cosas (IoT), lectura automática de medidores, monitoreo y control industrial.

Entre las principales ventajas del desarrollo de este proyecto están:

- Se elimina el traslado de personal a zonas de difícil acceso para la lectura de los niveles de agua.
- Se eliminan gastos requeridos para el traslado anteriormente mencionado.
- El acceso a la información es oportuna y segura además de estar actualizada constantemente.
- El costo de los nodos es bajo relacionado con la logística que se elimina

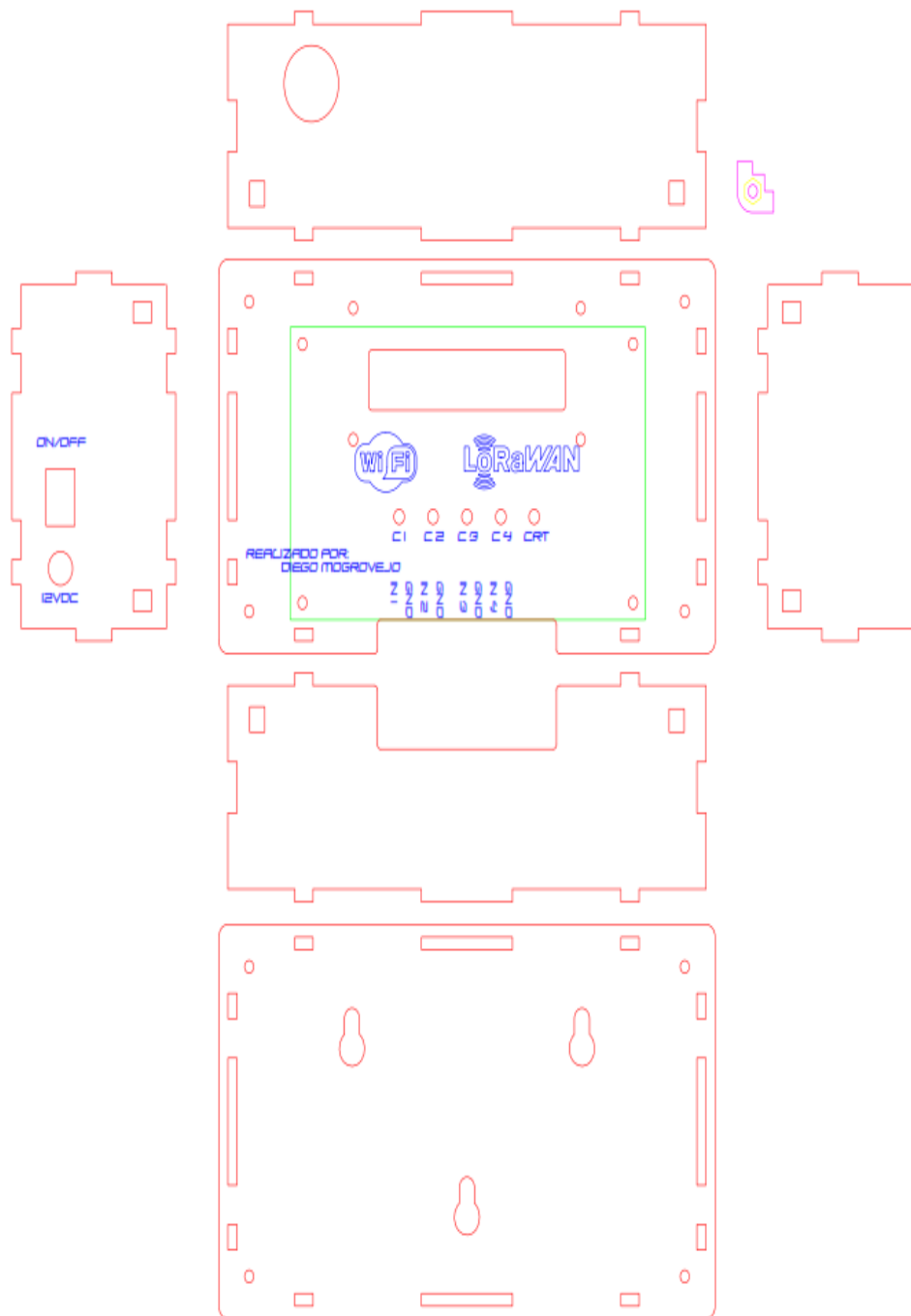


Figura 3.6 Case de nodos Transmisor TX y Receptor RX

Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN

4.1 DESARROLLO

Para la Transmisión de variables industriales basadas en protocolo LoRa para largas distancias, se desarrolló un prototipo de comunicación el mismo está compuesto por dos nodos: transmisor TX y receptor RX.

4.1.1 Nodo Transmisor TX

El nodo transmisor TX contiene una placa transmisora tx, la misma esa formada por: microcontrolador, fuente externa, mikrobus, display y entradas analógicas.

Microcontrolador: el circuito consta del microcontrolador con un pulsante de reseteo y un led programable, la peineta para conectar el grabador Pickit y el cristal externo para el micro con capacitores de 22pf.

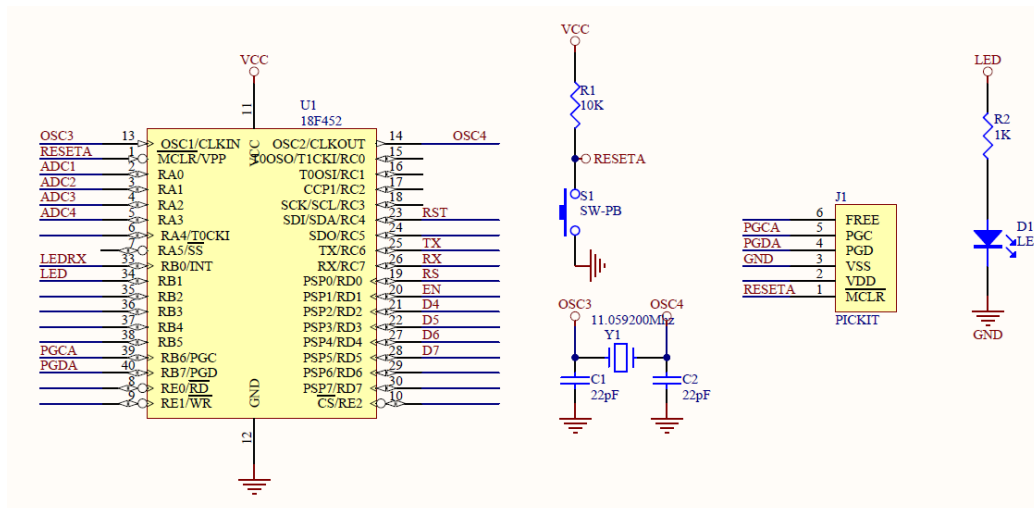


Figura 4.1 Configuración del Microcontrolador RN2903

Fuente: Elaborado por el autor

```

//pic 18f452
#define led      PORTB.F1
#define ledrx   PORTB.F0
#define rst     PORTC.F4
#define dat     PORTD.F1
#define dat1    PORTD.F2
#define seg     PORTD.F3
#define clk     PORTD.F0

char dato[]="          radio tx 101023201023301023401023          ";
char texto[]="asdbhaskjhdkasjghdkashjgdkash";
char power[]="radio set pwr 14\r\n";
char cr[]="radio set cr 4/8\r\n";
char mac[]="mac pause\r\n";
char str1[6] = {0,0,0,0,0,0};
char *p1;
char str2[6] ={0,0,0,0,0,0};
char *p2;
char str3[6] ={0,0,0,0,0,0};
char *p3;
char str4[6] ={0,0,0,0,0,0};
char *p4;
const char espacio[4] =" ";
char carac[]="sa|a|oad";
char txt1[] = "LoRa";
unsigned int num1;
unsigned int num1h;
unsigned int num1l;
unsigned int num2;
unsigned int num2h;
unsigned int num2l;
unsigned int num3;
unsigned int num3l;
unsigned int num3h;
unsigned int num4;
unsigned int num4h;
unsigned int num4l;
char x=0;
char x2l=0;
char x3;
int i;
char caract[5];

```

```

int cont;
int salir;
char *token;
char lba=0;
char buffer=0;
unsigned int datos[15];
unsigned int comodin=0;
unsigned int como=0;
int cont spi=0;
unsigned int variable1[10];
int contador=0;
char posl=1;
int actualiza=0;
void Uart rx(void);
void config(void);
void depura(void);
void configura power(char valor);
void separa (char inicio,char final, char ad) ;
void convertir entero(void);
void tiempo_spi(void);

```

```

void spi_set();

void main()
{
cont=0;
config();

while(1)
{
Uart rx();
if(cont==10000)
{
configura power(3);
delay ms(100);
cont=0;
}
if(actualiza==1)
{
spi set();
actualiza=0;
}
cont++;
}
}
//////////Uart1 Rx//////////
//////////Uart1 Rx//////////
void Uart rx(void)
{
ledrx=1;
UART1 Write_Text("radio rx 0\r\n");
salir=0;
x=1;
while (salir==0)
{
if (UART1_Data_Ready() == 1)
{
dato[x]=UART1 Read();
if ((dato[x-1]==13) && (dato[x]==10)) {salir=1;}
x++;
}
}
salir=0;
x=1;

```

```

while (salir==0)
{
if (UART1_Data_Ready() == 1)
{
dato[x]=UART1 Read();
if ((dato[x-1]==13) && (dato[x]==10)) {salir=1;}
x++;
}
}
separa(13,16,1);
separa(19,22,2);
separa(25,28,3);
separa(31,34,4);
ledrx=0;

return;
}
//////////depura//////////
void depura (void)
{

```

```

    while(1){
led=1;
ledrx=0;
delay_ms(100) ;
led=0;
ledrx=1;
delay_ms(100) ;
}
return; }

void separa (char inicio,char final, char ad)
{
    i=1;
    while(inicio<=final)
    {
        switch (ad)
        {
            case 1 : str1[i-1]=dato[inicio]; break;
            case 2 : str2[i-1]=dato[inicio]; break;
            case 3 : str3[i-1]=dato[inicio]; break;
            case 4 : str4[i-1]=dato[inicio]; break;
        }
        inicio++;i++;
    }
    num1= atoi(str1);
    num2= atoi(str2);
    num3= atoi(str3);
    num4= atoi(str4);
    actualiza=1;
    return;
}

void convertir_entero(void)
{ int len;
int dec;
dec=1;
len = strlen(str1);

    for(i=0; i<len; i++)
    {
        num1 = num1 * 10 + ( str1[i] - '0' );
    }
}

```

```

//////////configura power//////////
//////////configura power//////////
void configura_power(char valor)
{
    switch(valor){
    case 1:
    UART1 Write_Text(power);
    break;
    case 2:
    UART1 Write_Text(cr);
    break;
    case 3:
    UART1 Write_Text(mac);
    break;
    }
    salir=0;
}

```

```

    x=1;
    while (salir==0)
    {
        if (UART1_Data_Ready() == 1)
        {
            dato[x]=UART1_Read();
            if ((dato[x-1]==13)&&(dato[x]==10)) {salir=1;}
            x++;
        }
    }
    return;
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//
//                               FUNCION SPI TEMP
//
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//
void spi_set(void)
{
    comodin=0;
    cont_spi=0;
    pos1=1;

    como=num1&0x00FF;
    num1l=como;
    como=num1&0xFF00;
    como=como>>8;
    num1h=como;

    como=num2&0x00FF;
    num2l=como;
    como=num2&0xFF00;
    como=como>>8;
    num2h=como;

    como=num3&0x00FF;
    num3l=como;
    como=num3&0xFF00;
    como=como>>8;
    num3h=como;

    como=num4&0x00FF;
    num4l=como;
    como=num4&0xFF00;
    como=como>>8;
    num4h=como;

    variable1[1]=num1h;
    variable1[2]=num1l;
    variable1[3]=num2h;
    variable1[4]=num2l;
    variable1[5]=num3h;
    variable1[6]=num3l;
    variable1[7]=num4h;
    variable1[8]=num4l;

    seg=1;
    while(pos1<=8)
    {
        comodin=variable1[pos1];
        cont_spi=1;

```

```

while (cont_spi<=8)
{
    dat=comodin&0b1;
    delay ms(1);
    clk=1;led=1;
    tiempo spi();
    clk=0;led=0;
    tiempo spi();
    comodin=comodin>>1;
    cont_spi++;
}
pos1++;
}
delay ms(10);
seq=0;
led=0;
return;
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
//                               TIEMPO DE SPI
//                               ///
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
void tiempo_spi(void)
{
delay ms(1);
return;
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
void config(void)
{
adcon0=7;
//ENTRADAS

//SALIDAS
TRISB.F0=0; //LEDRX
TRISB.F1=0; //LED

TRISD.F0=0; //CLOCK
TRISD.F1=0; //DAT
TRISD.F2=0; //DAT1
TRISC.F4=0; //rst
TRISD.F3=0; //SEG
dat1=1;
rst=0;
delay ms(10);
rst=1;
delay_ms(2000);

UART1 Init(57600);
delay_ms(100);

configura power(1);
delay_ms(1000);

configura power(2);
delay_ms(1000);

configura power(3);
delay ms(1000);
dat1=0;
return;
}

```

Fuente Externa (12V): Para la fuente externa se usa un diodo de protección en caso de polaridad invertida luego de la entrada positiva usamos filtros de capacitor de 2200uF seguido de un regulador de voltaje de 5V con un filtro de capacitor a la salida. Tiene un led a la salida del regulador que permite saber cuándo está encendida la placa.

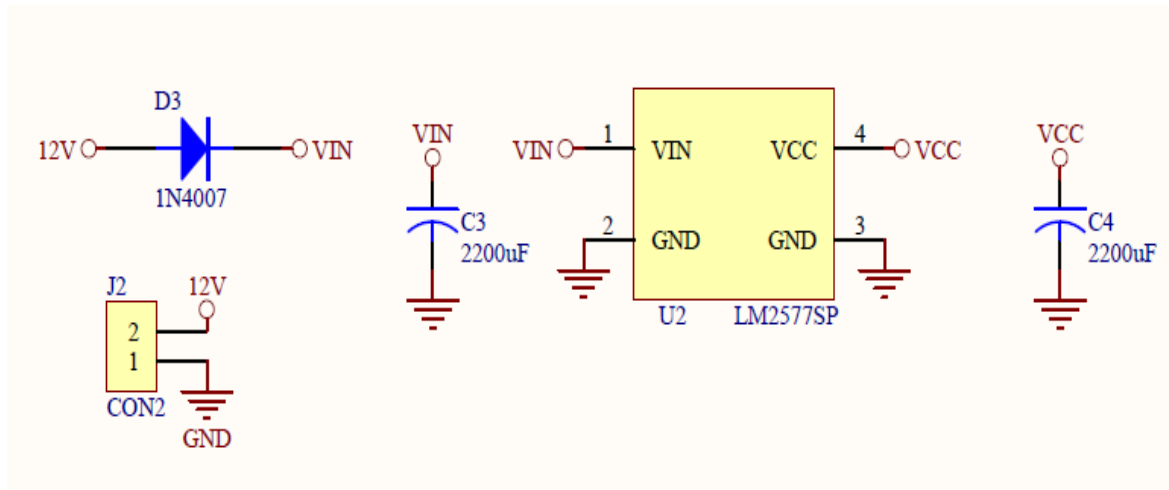


Figura 4.1 Fuente Externa 12V

Fuente: Elaborado por el autor

Mikrobus: aquí se conecta el módulo LORA los pines que usados son: RST, RX, TX, 5V. cuenta con un led puenteado al pin RX para saber cuándo recibe datos.

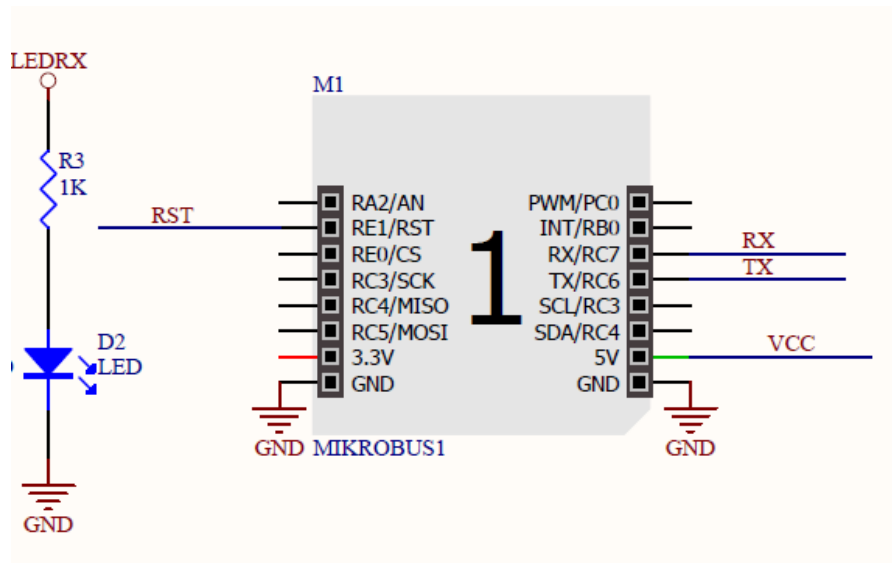


Figura 4.2 Configuración Mikrobus

Fuente: Elaborado por el autor

Display: El display usa 6 pines del microcontrolador que son RS, EN, D4, D5, D6, D7.; en la placa hay un partidor de tensión entre 5V y GND con un potenciómetro para regular el contraste de la LCD.

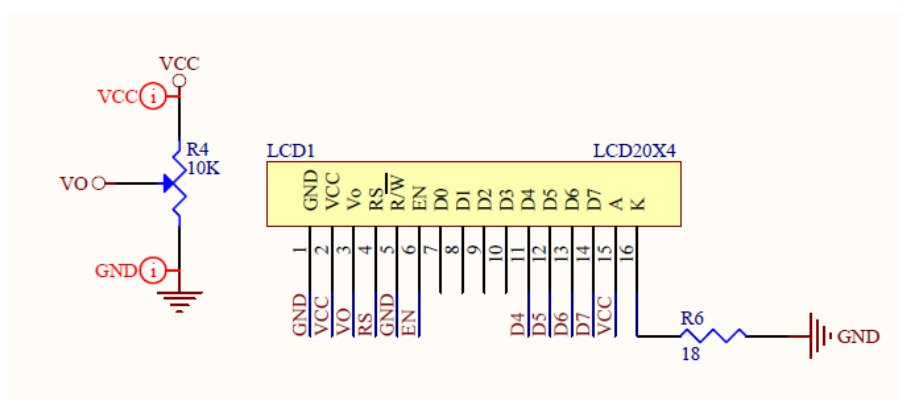


Figura 4.3 Configuración del Display

Fuente: Elaborado por el Autor

Entradas analógicas: Estas entradas cuentan con resistencias en paralelo para la regulación del voltaje aunque esta regulación depende de los sensores que se utilice y las operaciones que se realicen en labview, cada entrada tiene la conexión a tierra correspondiente.

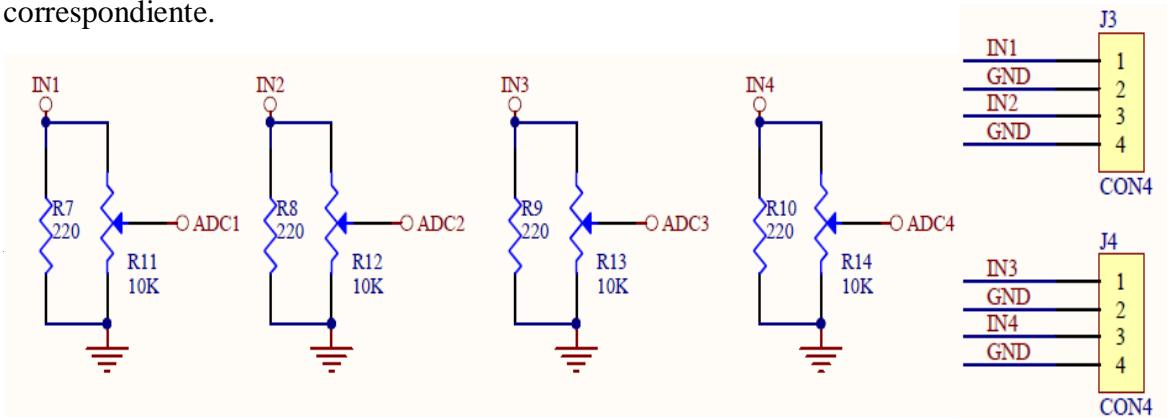


Figura 4.4 configuración entradas analógicas

Fuente: Elaborado por el autor

4.1.2 Nodo Receptor RX

El nodo receptor TX contiene una placa receptora RX, la misma esa formada por: microcontrolador esclavo, microcontrolador maestro, mikrobus, display, módulo UART wifi y fuente externa.

Microcontrolador Esclavo: Este microcontrolador cuenta con un pulsante de resteo, un led programable, peineta para programador Pickit y un cristal externo de 11.0592MHz con condensadores de 22pF. Este micro recibe la información del LORA y luego la envía al siguiente micro con comunicación SPI no estandarizada a través de los pines DAT, DAT1 y SEG.

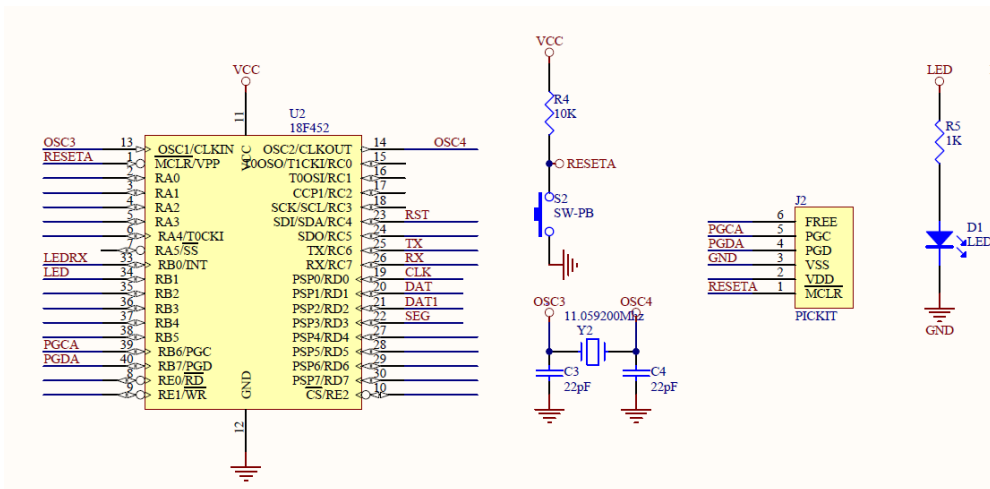


Figura 4.5 Configuración microcontrolador esclavo receptor RX

Fuente: Elaborador por el autor

Programa del Microcontrolador Esclavo RX

```

//pic 18f452
#define led PORTB.F1
#define ledrx PORTB.F0
#define rst PORTC.F4
#define dat PORTD.F1
#define dat1 PORTD.F2
#define seg PORTD.F3
#define clk PORTD.F0

char dato[]="                radio tx 101023201023301023401023                ";
char texto[]="asdbhaskjhgdkasjghdkashjgdkash";
char power[]="radio setpwr14\r\n";
char cr[]="radio set cr 4/8\r\n";
char mac[]="mac pause\r\n";
char str1[6] = {0,0,0,0,0,0};
char *p1;

char str2[6] = {0,0,0,0,0,0};

char *p2;

char str3[6] = {0,0,0,0,0,0};
char *p3;

char str4[6] = {0,0,0,0,0,0};
char *p4;

const char espacio[4] = " ";

char carac[]="sajaioad";

char txt1[] = "LoRa";

unsigned int num1;

unsigned int num1h;
unsigned int num1l;
unsigned int num2;
unsigned int num2h;
unsigned int num2l;
unsigned int num3;
unsigned int num3l;
unsigned int num3h;
unsigned int num4;
unsigned int num4h;
unsigned int num4l;
char x=0;
char x2l=0;
char x3;
int i;
    char caract[5];
    int cont;
    int salir;

```

```

char *token;
lba=0;
char buffer=0;
unsigned int datos[15];
unsigned int comodin=0;
unsigned int como=0;
int cont_spi=0;
unsigned int variable1[10];
int contador=0;
char pos1=1;
int actualiza=0;
void Uart_rx(void);
void config(void);
void depura(void);
void configura_power(char valor);
void separa (void);char inicio, char final, char ad;
void convertir_entero(void);
void tiempo_spi(void);

```

Fuente Externa: Para la fuente externa se usa un diodo de protección en caso de polaridad invertida luego de la entrada positiva se usa filtros de capacitor de 2200uF seguido de un regulador de voltaje de 5V con un filtro de capacitor a la salida. Tiene un led a la salida del regulador para saber cuándo está encendida la placa. El regulador alimenta las 2 placas.

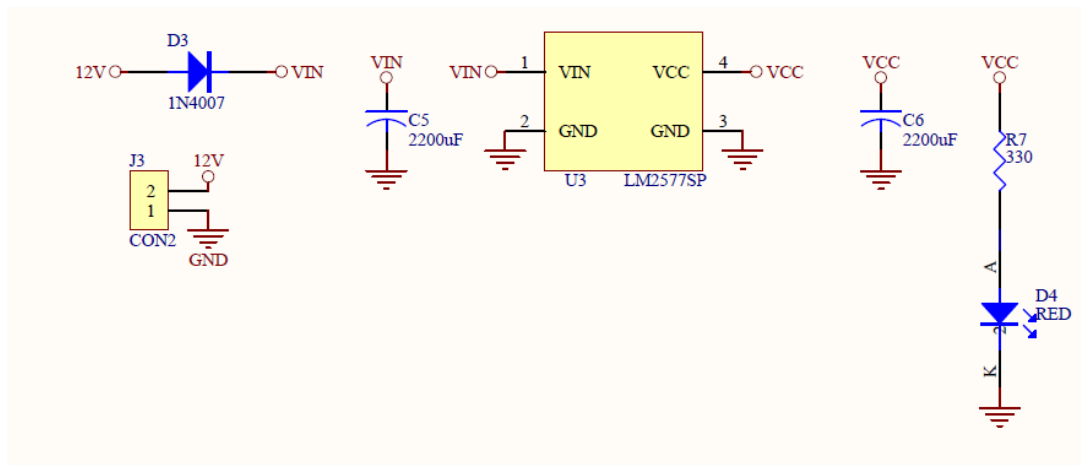


Figura 4.6 Configuración fuente externa receptor RX

Fuente: Elaborado por el autor

Microcontrolador Maestro: Este microcontrolador cuenta con un pulsante de reseteo, 2 leds programables, peinata para grabador Pickit y un cristal externo de 11.0592MHz con condensadores de 22pF. Este micro recibe la información del esclavo y envía por serial al módulo Wifi para que por conexión UDP se conecte con labview y envíe la información de los sensores.

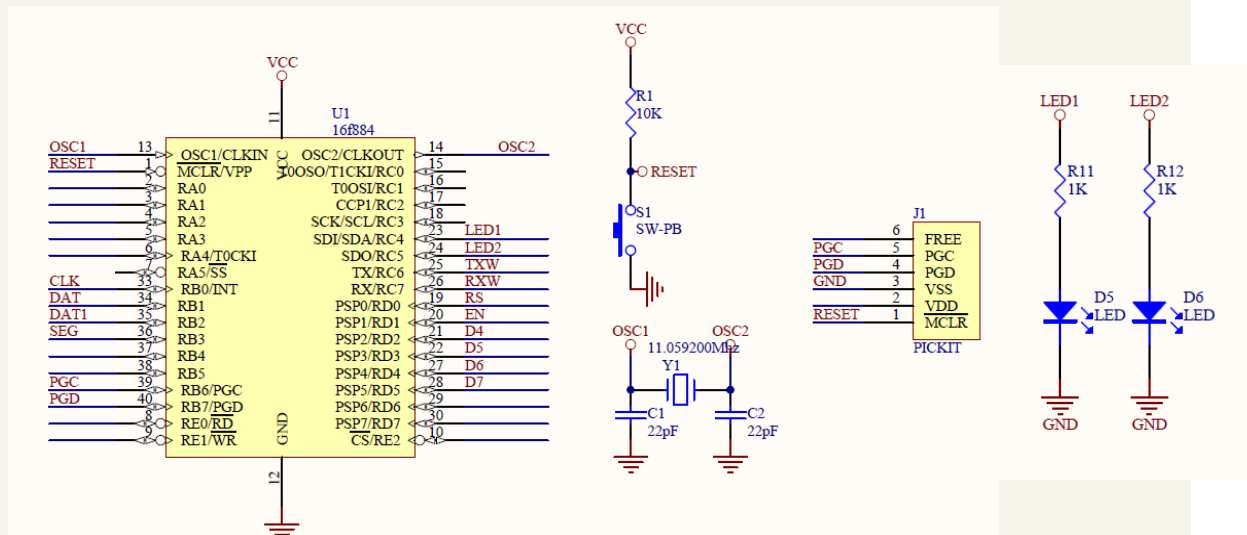


Figura 4.7 Configuración Microcontrolador Maestro receptor RX

Fuente: Elaborado por el autor

PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR MAESTRO

```
// Pin direction
sbit LCD_RS_Direction at TRISD0_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISD1_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISD3_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD2_bit;

//pic 45k22
#define led1 PORTC.F4 // Lcd pinout settings
#define led2 PORTC.F5 sbit LCD_RS at RD0_bit;
#define dat PORTB.F1 sbit LCD_EN at RD1_bit;
#define dat1 PORTB.F2 sbit LCD_D7 at RD5_bit;
#define seg PORTB.F3 sbit LCD_D6 at RD4_bit;
#define clk PORTB.f0 sbit LCD_D5 at RD3_bit;
#define NULL 0 sbit LCD_D4 at RD2_bit;
```

```

    INTCON.INT0IF = 0;
}

unsigned int dato[13];
char texto[]="asdbhaskjhgdkasjghdkashjgdkash";
char str1[6] = {0,0,0,0,0,0};
char *p1;
char str2[6] ={0,0,0,0,0,0};
char *p2;
char str3[6] ={0,0,0,0,0,0};
char *p3;
char str4[6] ={0,0,0,0,0,0};
char *p4;
const char espacio[4] =" ";
unsigned int num1=0;
unsigned int num2=0;
unsigned int num3=0;
unsigned int num4=0;
unsigned int alto=0;
unsigned int bajo=0;
unsigned int num1h=0;
unsigned int num1l=0;
unsigned int num2h=0;
unsigned int num2l=0;
unsigned int num3h=0;
unsigned int num3l=0;
unsigned int num4h=0;
unsigned int num4l=0;
unsigned int num_t=0;
unsigned int cont=0;
unsigned int actualiza=0;
char i;
char variable[10];
int salir;
void quita_cero(void);
void uart_tx(void);
void lcd ();
void recibe_config(void);
void interrupt(void);
void config(void);

////////////////////////////////////
/// RUTINA DE INTERRUPCION
////////////////////////////////////

void interrupt(void)

{
    if (INTCON.INT0IF)
    {
        while(seg==1)
        {
            recibe_config();
        }
    }
}

```

```

    INTCON.GIE=1;
    return;
}

void main() {
    config();
    while(1)
    {
        lcd();
        if (UART_Data_Ready() == 1)
        {
            i = UART1_Read();
            if(i=='1')
            {
                uart_tx();
            }
            if (actualiza==1)
            {
                uart_tx();
                actualiza=0;
                cont=0;
            }

            if (cont==100)
            {
                uart_tx();
                cont=0;
            }
            cont++;

            //////////////////////////////////////
            ///  RECIBE CONFIGUTACION CONFIGURACION
            //////////////////////////////////////
            void recibe_config(void)
            {
                char count_dato=0;
                char dir_c=1;
                while(seg == 1)
                {
                    count_dato++;
                    dato[count_dato]=dat;
                    if(count_dato==8)
                    {
                        variable[dir_c]=dato[1]*1+dato[2]*2+dato[3]*4+dato[4]*8+dato[5]*16+dato[6]*32
                        +dato[7]*64+dato[8]*128;
                        count_dato=0;
                        dir_c++;
                    }
                }
                while((clk==1)&&(seg==1)){led1=1;};
                while((clk==0)&&(seg==1)){led1=0;};
            }
    }
}

```

```
if (dir_c==9)
{
    num1h=variable[1];
    num1l=variable[2];
    num2h=variable[3];
    num2l=variable[4];
    num3h=variable[5];
    num3l=variable[6];
    num4h=variable[7];
    num4l=variable[8];

    num1h=num1h<<8;
    num_t=(num1h+num1l);
    num1=num_t;

    num2h=num2h<<8;
    num_t=(num2h+num2l);
    num2=num_t;

    num3h=num3h<<8;
    num_t=(num3h+num3l);
    num3=num_t;

    num4h=num4h<<8;
    num_t=(num4h+num4l);
    num4=num_t;
    actualiza=1;
}
return;
}

void uart_tx(void)
{
    alto = num1;
    bajo=alto&0x00FF;
    alto=alto&0xFF00;

    alto= alto>>8;
    Uart1_Write((char)alto);
    Uart1_Write((char)bajo);

    alto = num2;
    bajo=alto&0x00FF;
    alto=alto&0xFF00;
    alto= alto>>8;
    Uart1_Write((char)alto);
    Uart1_Write((char)bajo);

    alto = num3;
    bajo=alto&0x00FF;
    alto=alto&0xFF00;
    alto= alto>>8;
    Uart1_Write((char)alto);
    Uart1_Write((char)bajo);
}
```



```

alto      =      num4;
bajo=alto&0x00FF;
alto=alto&0xFF00;
alto= alto>>8;
Uart1_Write((char)alto);
Uart1_Write((char)bajo);

return;
}

void lcd ()
{
  inttostr(num1,texto);
  quita_cero();
  lcd_out(1,4,texto);
  inttostr(num2,texto);
  quita_cero();
  lcd_out(1,12,texto);
  inttostr(num3,texto);
  quita_cero();
  lcd_out(2,4,texto);
  inttostr(num4,texto);
  quita_cero();
  lcd_out(2,12,texto);
  lcd_out(1,1,"A1=");
  lcd_out(1,9,"A2=");
  lcd_out(2,1,"A3=");
  lcd_out(2,9,"A4=");
}

void quita_cero(void)
{
  texto[0]=texto[2];
  texto[1]=texto[3];
  texto[2]=texto[4];
  texto[3]=texto[5];
  texto[4]=NULL;
  texto[5]=NULL;
}

//////////config////////////////////////////////////
//////////config////////////////////////////////////
void config(void)
{
  ANSELA=0;
  ANSELB=0;
  ANSELC=0;
  ANSELD=0;

  //ENTRADAS
  TRISB.F0=1;      //clk
  TRISB.F1=1;      //dat
  TRISB.F2=1;      //dat1
  TRISB.F3=1;      //seq
  //SALIDAS

```

```
TRISC.F4=0;    //LED1
TRISC.F5=0;    //LED2

delay_ms(1000);
Lcd_Init();
delay_ms(100);
UART1_Init(9600);

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
while(dat1==1){
Lcd_Out(1,1,"LoRa Config...");
}
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
INTCON.GIE=1;
INTCON.INT0IE=1;
INTCON.INT0IF      =0;
INTCON2.INTEDG0=1;
return;
}
```

Mikrobus: En esta parte del circuito se conecta el módulo LORA (RX) y va al microcontrolador Maestro, los pines que se utilizan son: RST, RX, TX, 5V y GND, cuenta también tiene un led puentado al pin RX para saber cuándo recibe datos.

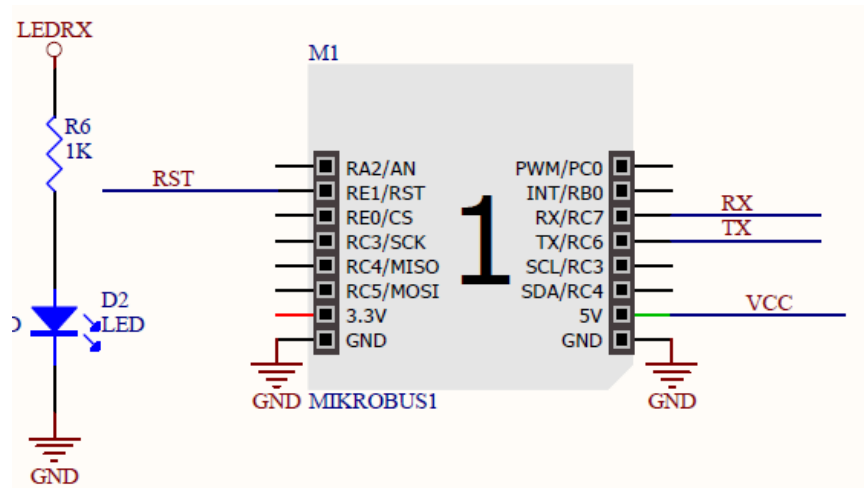


Figura 4.8: Configuración Mikrobus receptor RX

Fuente: Elaborado por el autor

Display: El display usa 6 pines del microcontrolador que son RS, EN, D4, D5, D6, D7. Y en la placa existe un partidor de tensión entre 5V y GND con un potenciómetro para regular el contraste de la LCD.

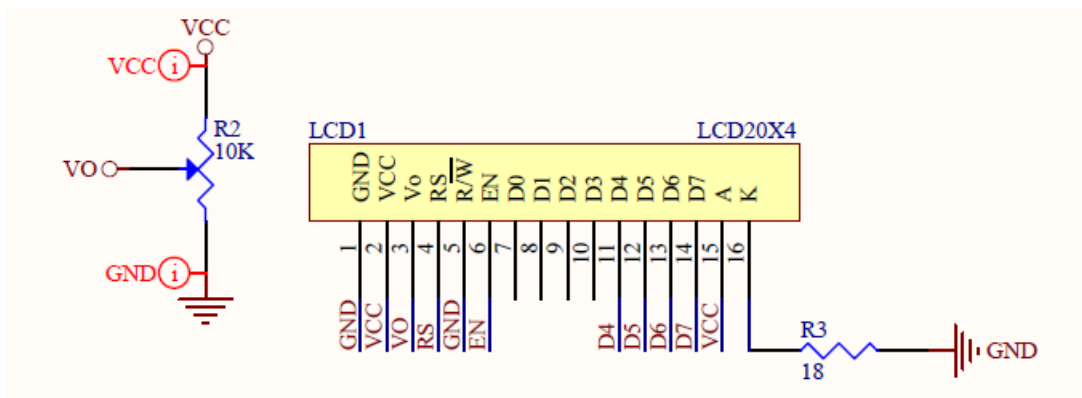


Figura 4.9 Configuración display receptor RX

Fuente: Elaborado por el autor

UART-Wifi-module: Este módulo va conectado al microcontrolador maestro tiene un pulsante de reseteo y se alimenta con 3.3V., una resistencia entre el pin de TX y el microcontrolador para proteger el módulo de los 5V que envía el microcontrolador

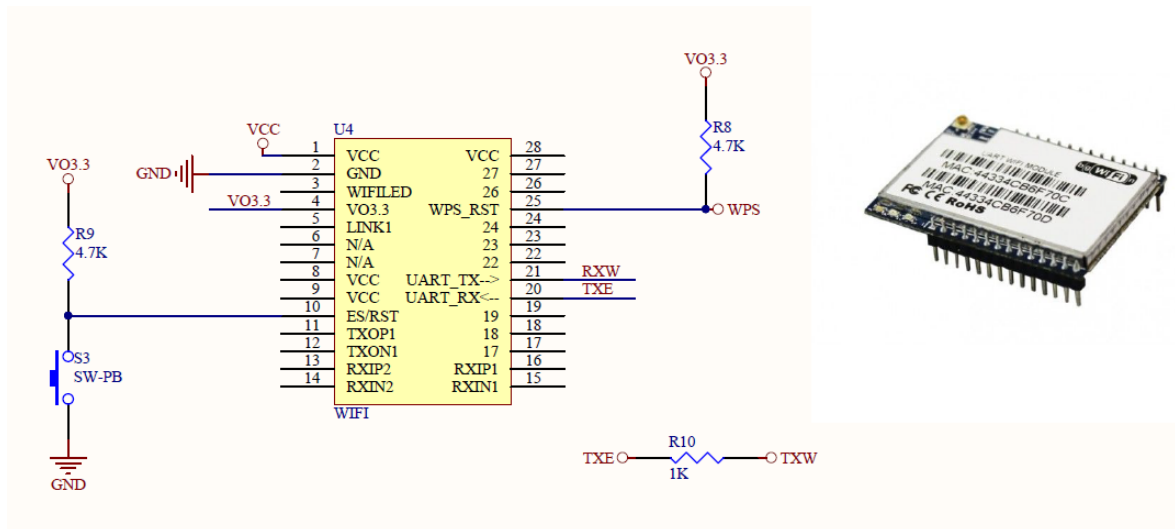


Figura 4.10 Configuración módulo UART wifi receptor RX

Fuente: Elaborado por el autor

4.2.3 Estructura de las placas

Después del desarrollo y la configuración de cada elemento de las placas transmisora TX y receptora RX las placas quedan estructuradas de la siguiente manera:

Placa Transmisora TX

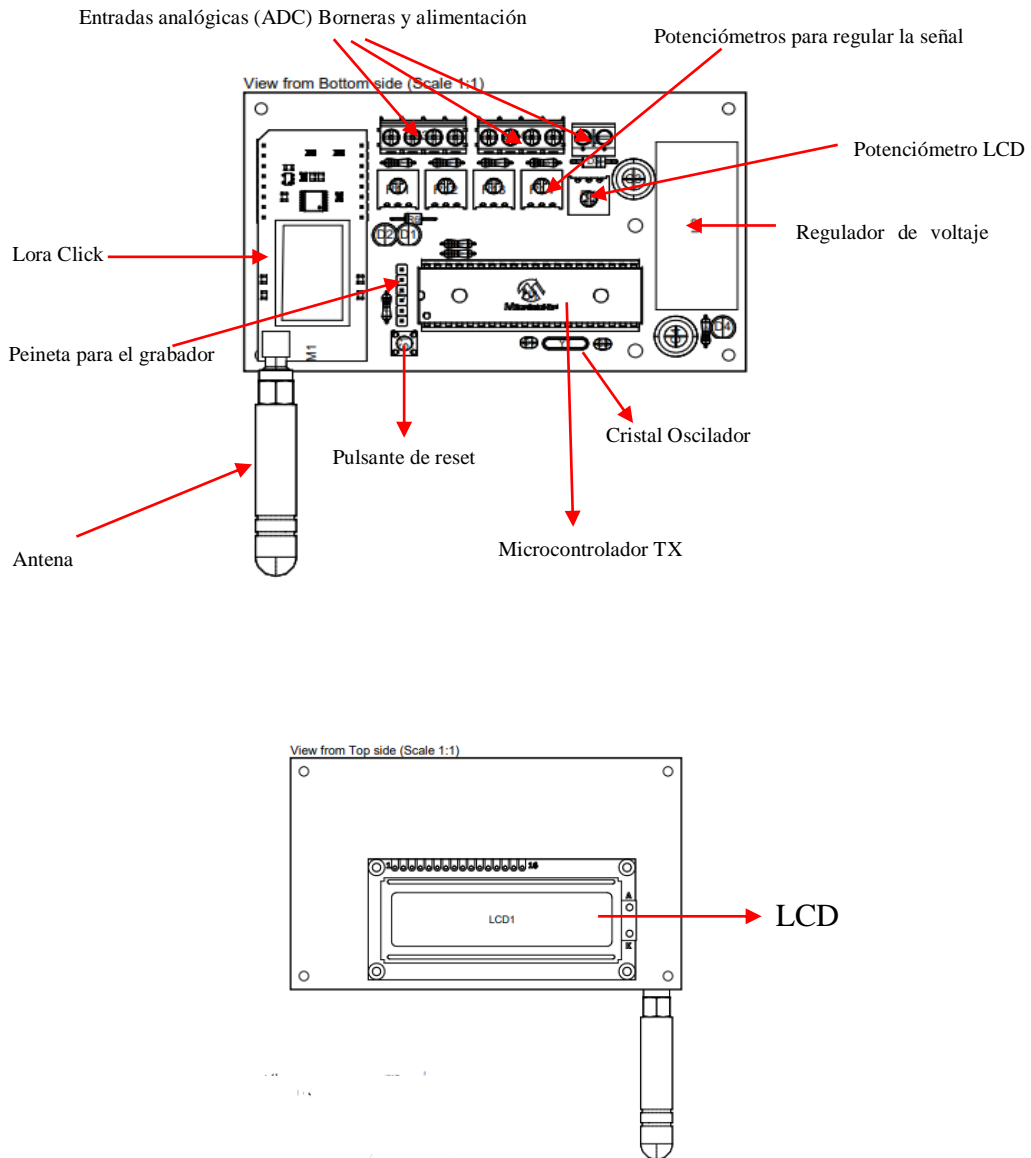


Figura 4.11 Estructura de la placa Transmisora TX

Fuente: Elaborado por el autor

Placa Receptora RX

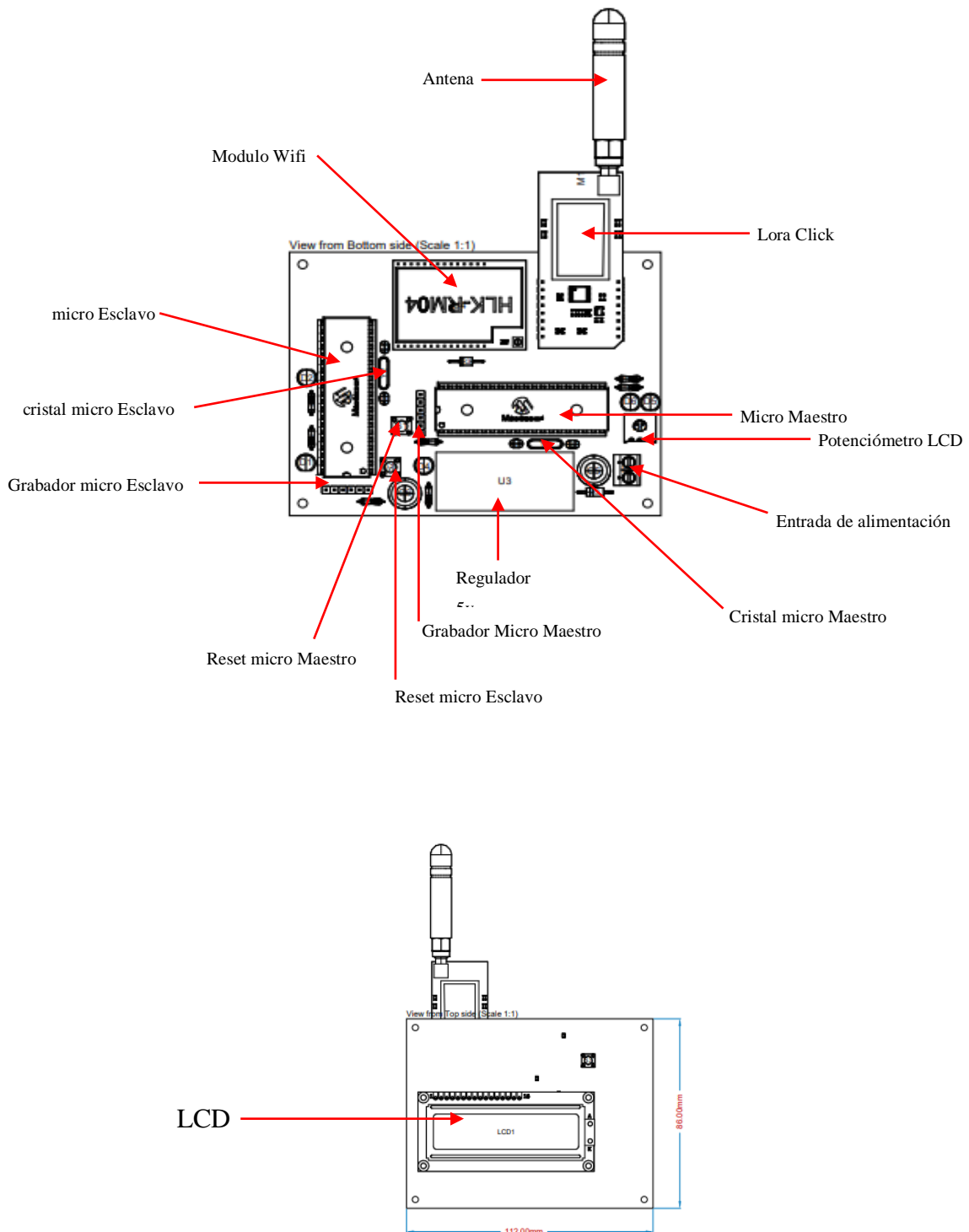


Figura 4.12 Estructura de la placa Receptora RX

Fuente: Elaborado por el autor

4.2 IMPLEMENTACIÓN

Nodo Transmisor TX

La implementación del nodo Transmisor TX se realiza en el laboratorio de tratamiento de agua potable para poder compartir datos analógicos, los mismos que se convierten por medio de la ecuación implementada en labview y en el microcontrolador del receptor RX para obtener el valor en metros.



Figura 4.14 Instalación nodo Transmisor TX

Fuente: Elaborado por el autor

El tanque para el abastecimiento de agua potable tiene una altura de 6 metros, cuando el agua se encuentra en un nivel de 4.35m se emite una alarma para que se desvíe el caudal, sin embargo, cuando el nivel del agua alcanza una altura de 4.42 m. es porque el agua está fugando e implica un desperdicio, pero cuando el agua se encuentra en un nivel bajo se debe cerrar la válvula de salida con el fin de llenarlo, se considera un nivel bajo cuando el agua se encuentra entre 1.30 y 1.70 m. el nivel de agua óptimo considerado para este proyecto y por recomendación del administrador es de 1.71 a 4.34 m de altura.



Figura 4.15 Vista Interior del tanque de abastecimiento

Fuente: Elaborado por el autor

Nodo Receptor TX

Con el fin de realizar un mejor control y optimizar recursos, la instalación del nodo receptor RX se realizan en las oficinas administrativas, ahí un técnico de monitoreo se encargará de revisar que el nivel del agua emitido se encuentre entre los valores recomendados.

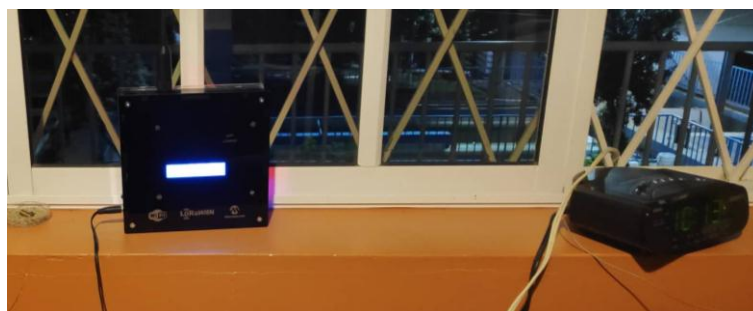


Figura 4. 16 nodo Receptor RX instalado en Oficinas administrativas

Fuente: Elaborado por el autor

4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El presente proyecto cuenta con 3 VI y son: UDP_inicio, archivos Excel y LORA_adc.

4.3.1 UDP_inicio

Las entradas se configuran con controles en PUERTO 2 va el número de puerto, en PUERTO va la conexión UDP que se hace con “UDP OPEN FUNCTION” y en Entrada de Error va el error que se genera con “UDP OPEN FUNCTION”. Y en address se ingresa la dirección IP que se va a utilizar mientras que 250 es el dato que se va a enviar

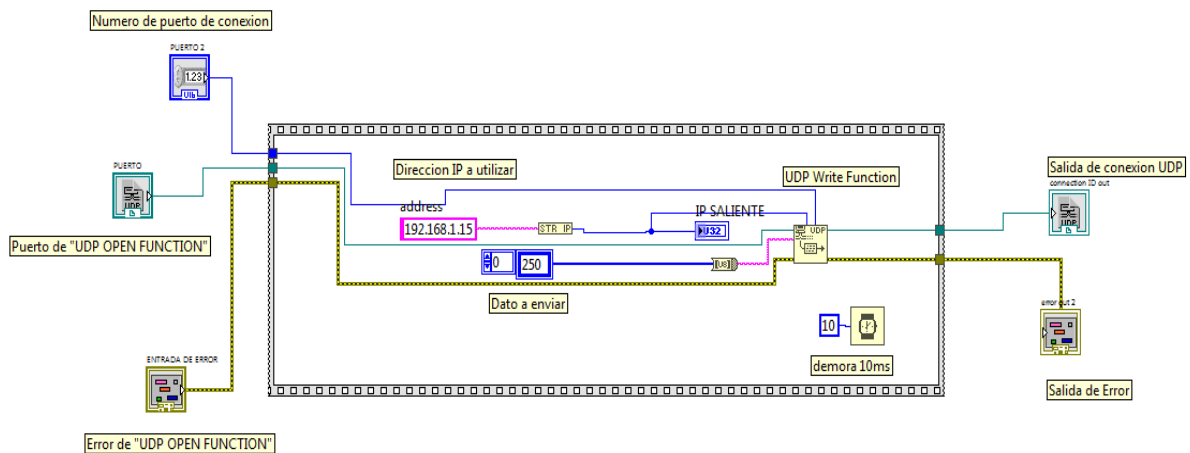


Figura 4.17 Proceso de UDP_inicio

Fuente: Elaborado por el autor

2.-En el primer recuadro se deben agregar los nombres de las columnas, se crea o se abre el archivo de Excel, en el siguiente recuadro se ingresan los datos de los sensores y se archiva la hora/fecha en la que se capturan los datos, también cuenta con un control para enviar los datos de ser necesario.

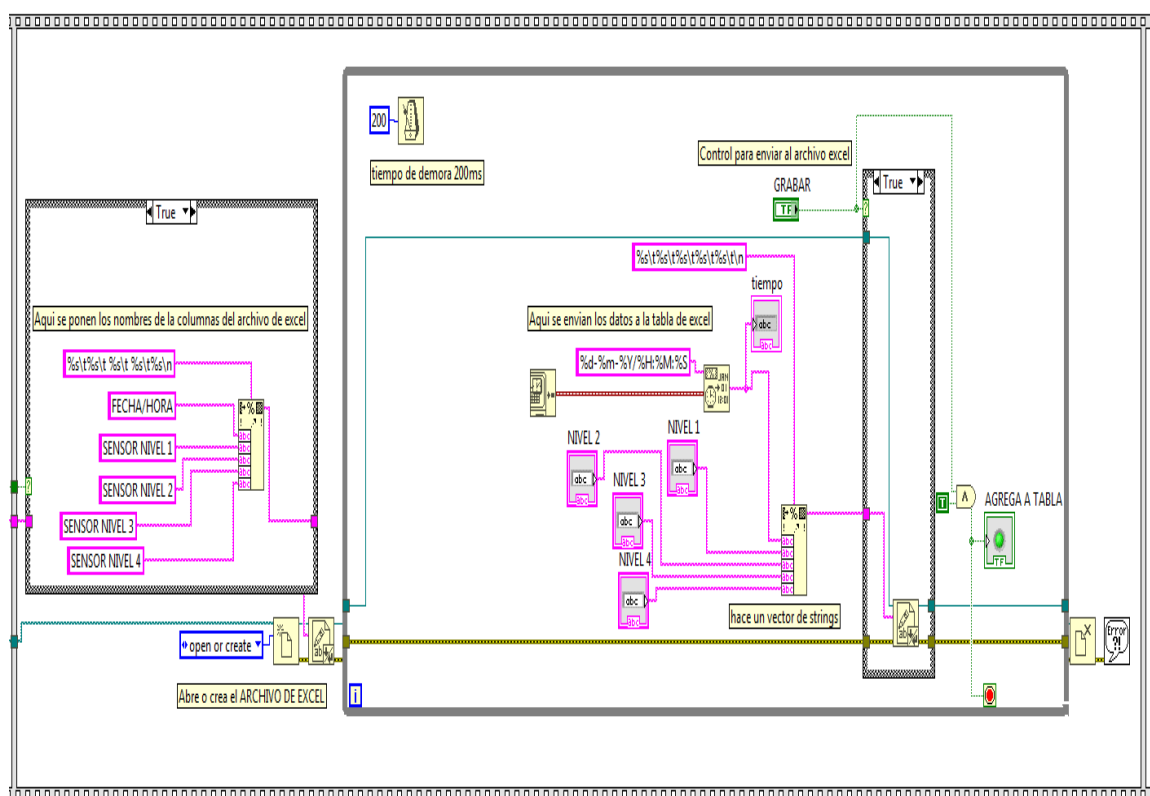


Figura 4.139 Segundo paso para el VI archivo Excel

Fuente: Elaborado por el autor

3.- Por último, se debe esperar 300ms para que los datos sean actualizados y guardados en el archivo Excel.

4.3.3 Lora_adc

El panel frontal de este VI es la pantalla principal del programa y cuenta de 2 pestañas, la primera; muestra el monitoreo de los tanques de agua, mediante las gráficas se puede visualizar como baja o sube el nivel del agua dentro de los tanques también permite ver el estado del tanque en tiempo real.

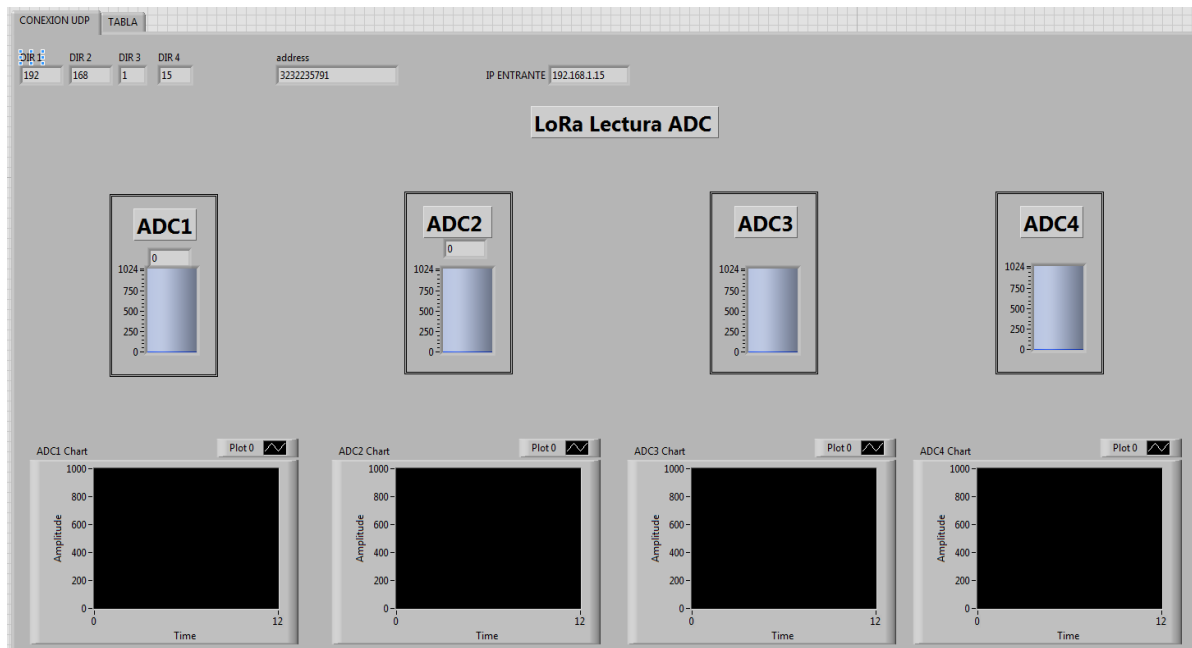


Figura 4.20 Monitoreo de los tanques de agua en tiempo real

Fuente: Elaborado por el autor

La otra pestaña muestra una tabla de actualización de datos, estos son los datos que se van almacenando en el archivo de Excel.

FECHA/HORA	SENSOR NIVEL 1	SENSOR NIVEL 2	SENSOR NIVEL 3	SENSOR NIVEL 4
1	12/04/2019 11:38:15	12/04/2019 11:39:25	00:01:09	

Figura 4.21 Tabla de actualización de datos

Fuente: Elaborado por el autor

En el diagrama de bloques UDP inicia la comunicación con la función UDP Open Function para conectarse con el UDP_inicio VI.

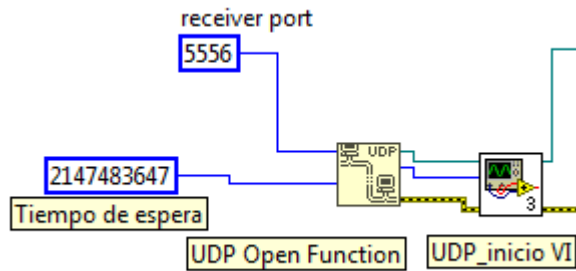


Figura 4.22 Comunicación bloques UDP

Fuente: Elaborado por el autor

La función UDP READ permite leer los datos que envía el microcontrolador maestro, la salida de error de udp read va a ser la condición para el case siguiente, si no hay error los datos pasan al siguiente proceso, si existe algún error los datos no se procesan y se vuelven a leer.

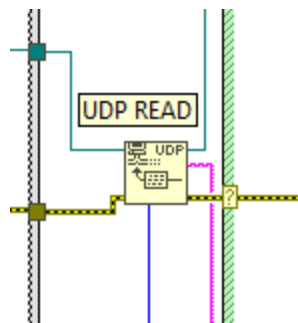


Figura 4.143 Función UDP READ

Fuente: Elaborado por el autor

Una vez que se ha recibido los datos, para procesarlos se debe separar el string en 2 bytes los mismos que son alto y bajo, esto se realiza con el fin de convertirlos en un arreglo de bytes y convertirlos en números, al número alto se debe multiplicar por 256 y sumar con el número bajo, el resultado es enviado a un gráfico tipo tanque; esté gráfico es variable en el tiempo, también se envía a la tabla labview y al archivo Excel.

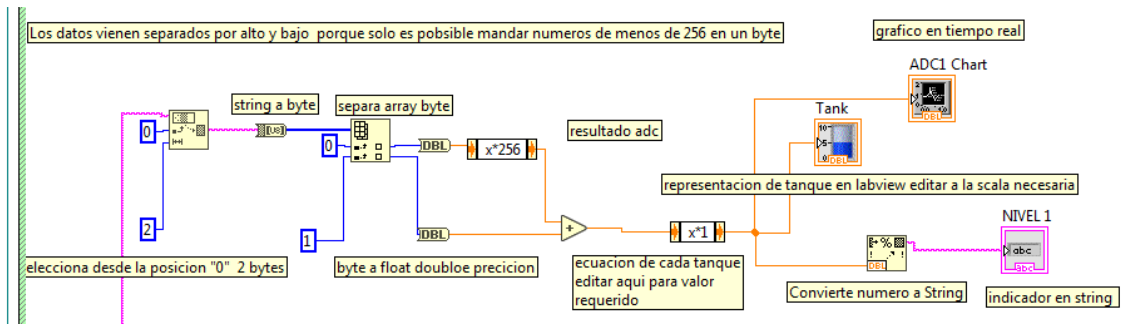


Figura 4.24 Procesamiento de datos

Fuente: Elaborado por el autor

Proceso para obtener en un indicador la dirección IP en la que se está trabajando.

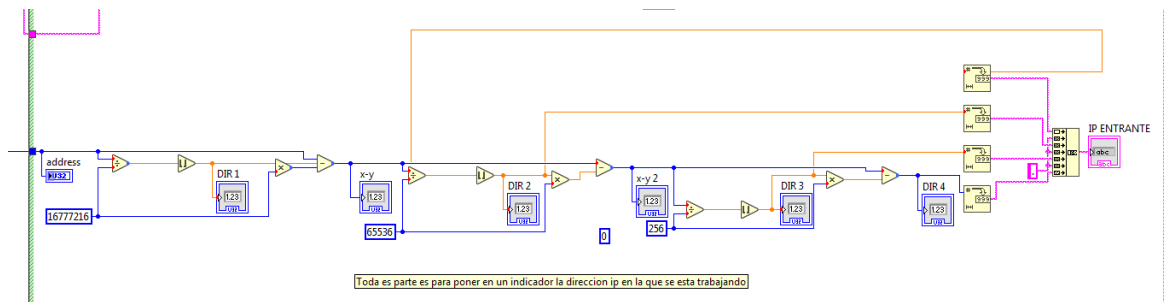


Figura 4.155 Obtención dirección IP

Fuente: Elaborado por el autor

Proceso para el envío de datos al archivo Excel

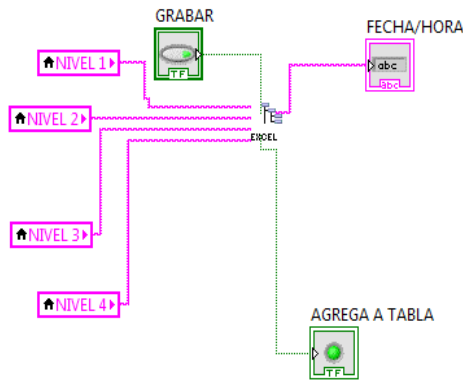


Figura 4.26 Envío de datos al archivo Excel

Fuente: Elaborado por el autor

Proceso para el envío de datos a la tabla labview

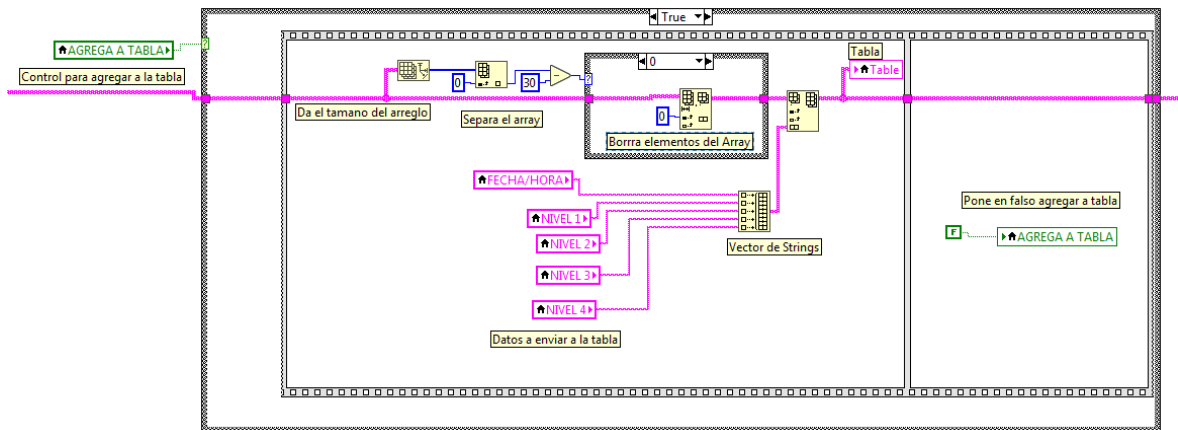


Figura 4.27 Envío de datos a la tabla labview

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.4 Pruebas de medición

Se valida con la lectura manual, y los datos obtenidos en tiempo real mediante la señal wifi enviada por el nodo Transmisor TX y recibida por el Receptor RX.

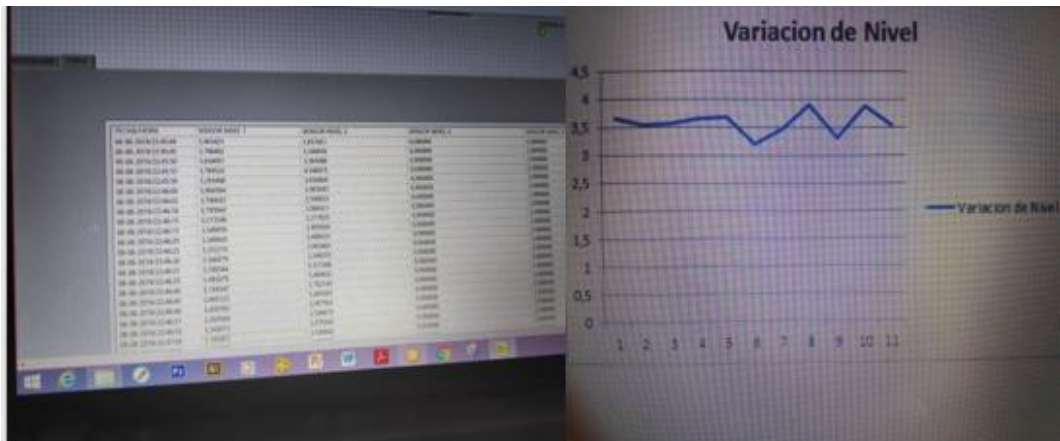


Figura 4.28 Validación de lectura de datos

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.5 Pruebas de conexión

Se utilizan para verificar que los nodos envíen y reciban datos es decir exista comunicación entre ellos.

La siguiente imagen muestra que la conexión si existe.

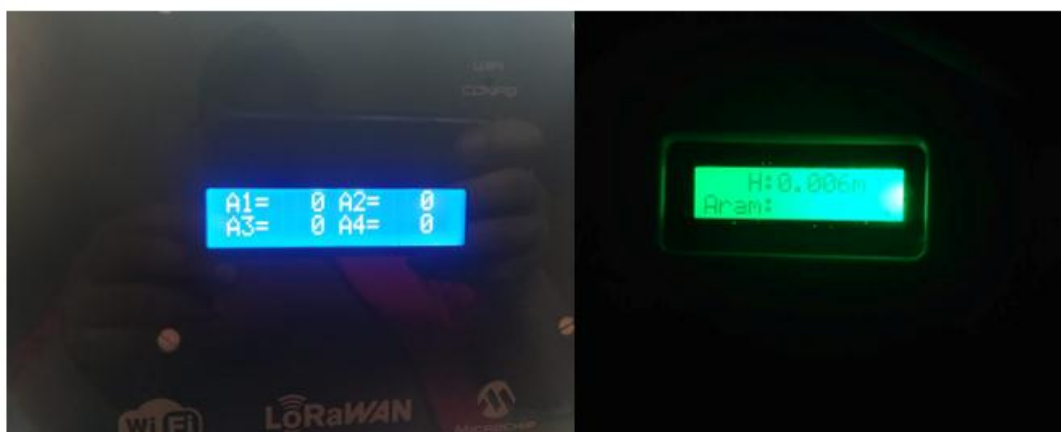


Figura 4. 29 Comunicación entre nodos

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.6 Prueba de Lectura del Sensor cargando

Carga de código hex en microcontrolador

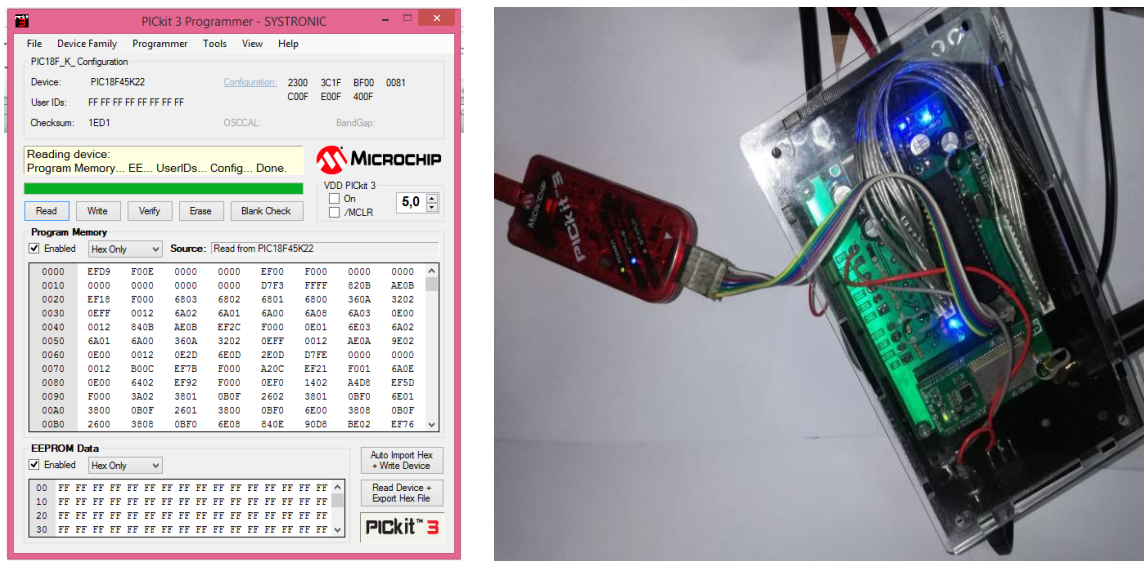


Figura 4.30 Carga de Código en microcontrolador

Fuente: Elaborado por el autor

Verificar lectura en indicador donde se colocó el sensor.



Figura 4.31 Verificación de lectura

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.7 Pruebas de Transmisión

Prueba de transmisión desde Escuela Cornelio Crespo Toral a Cooperativa Cooperco distancia (1.72km)

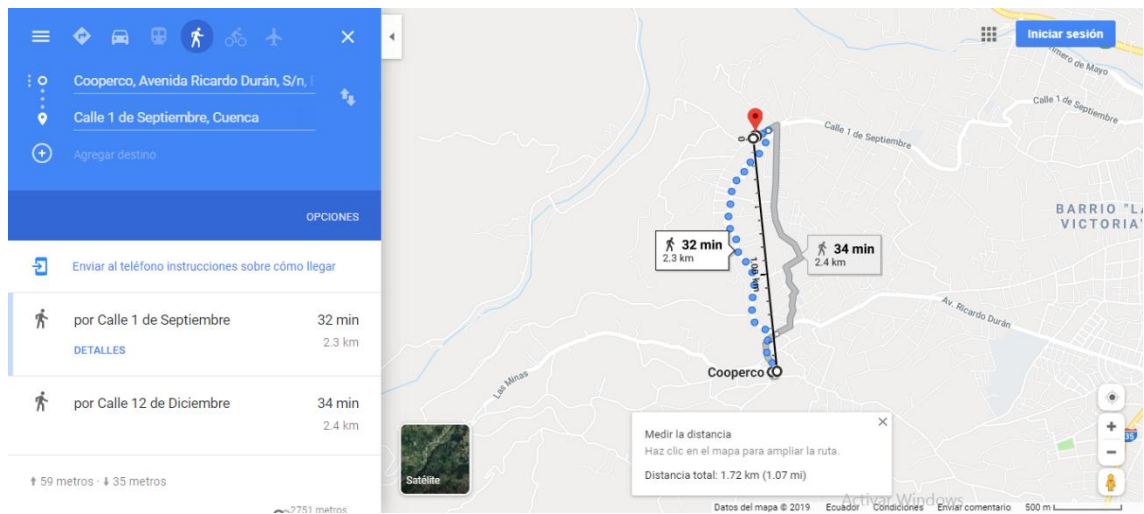


Figura 4.32 Prueba 1 de Transmisión (1.7 km)

Fuente: Elaborado por el autor



Figura 4.33 Prueba 2 de Transmisión (1.7Km)

Fuente: Elaborado por el autor

Prueba de transmisión desde Escuela Cornelio Crespo Toral a Parque Iberia (5.9Km)

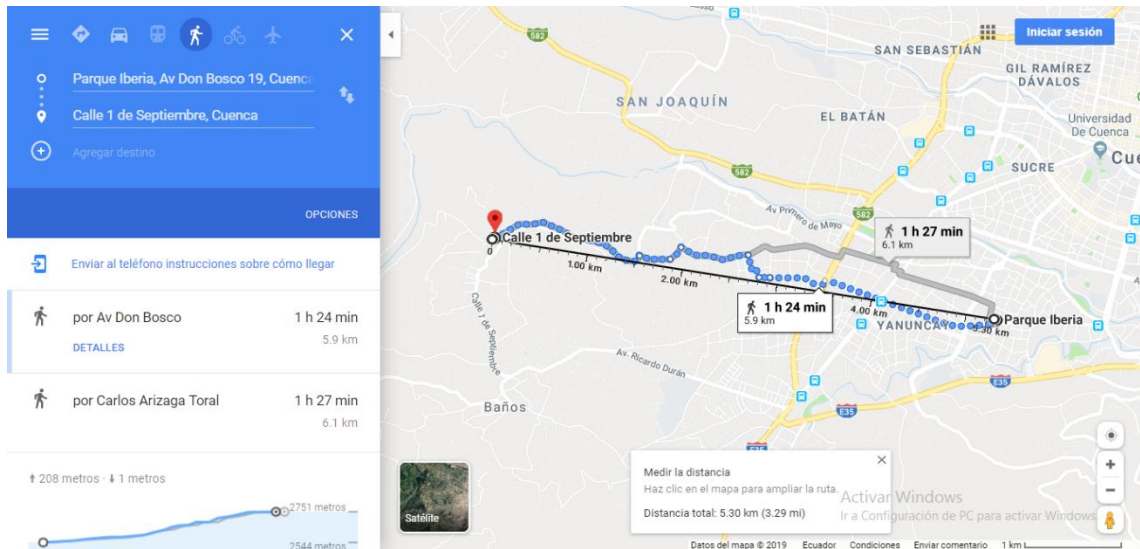


Figura 4.34 Prueba 1 de Transmisión 5.9 km

Fuente: Elaborado por el autor



Figura 4.35 Prueba 2 de Transmisión 5.9 km

Fuente: Elaborado por el autor

Prueba de transmisión desde Escuela Cornelio Crespo Toral a colegio continental 3.02 km.

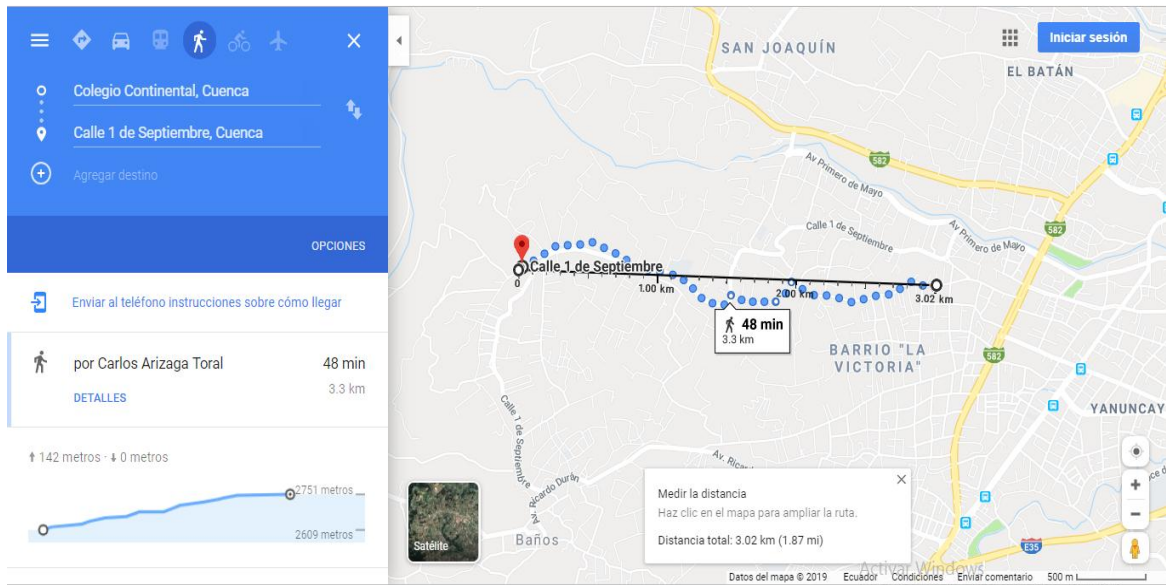


Figura 4.36 Prueba 1 de Transmisión 3.02 km

Fuente: Elaborado por el autor



Figura 4.37 Prueba 2 de Transmisión 3.02 km

Fuente: Elaborado por el autor

Prueba de alcance desde Escuela Cornelio Crespo Total a Panadería Reyna del cisne 4.06km

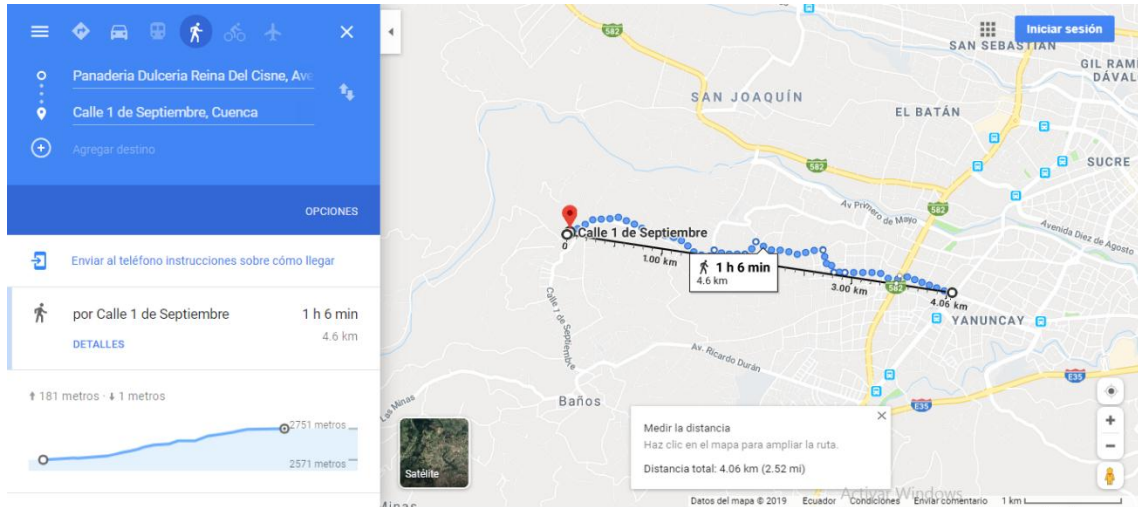


Figura 4.38 Prueba 1 de Alcance 4.06 km

Fuente: Elaborado por el autor



Figura 4.39 Prueba 2 de Alcance 4.06 km

Fuente: Elaborado por el autor

Prueba de alcance desde Escuela Cornelio Crespo Toral a Colegio Febres Cordero
3.6 km

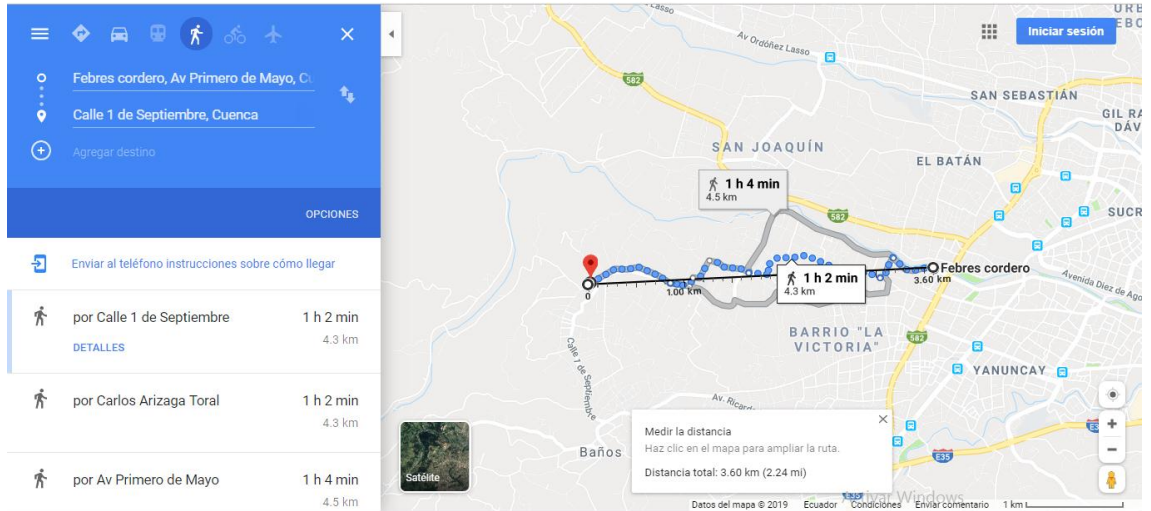


Figura 4.40 Prueba 1 de Alcance 3.66 km

Fuente: Elaborado por el autor



Figura 4.41 Prueba 2 de Alcance 3.66 km

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.9 Pruebas de Lectura y Validación de Datos

Prueba de lectura a 8cm:

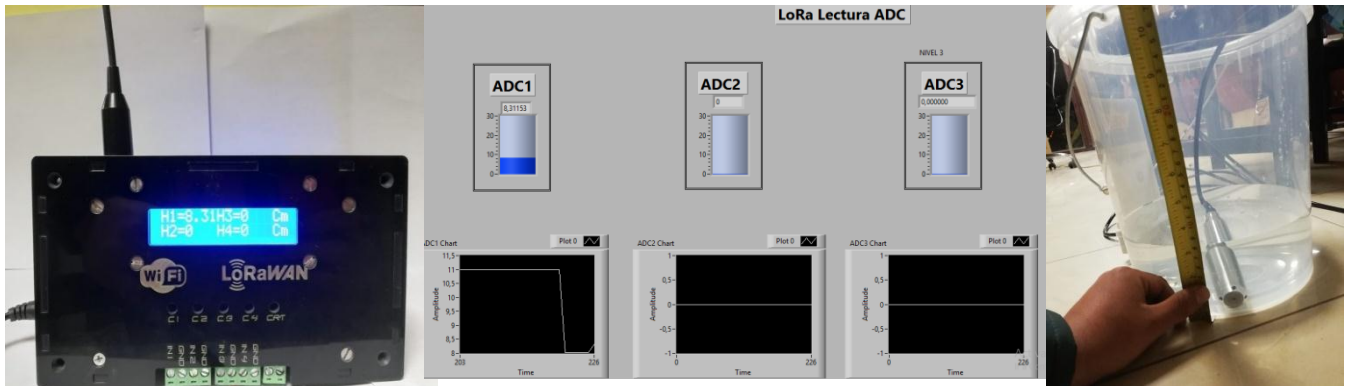


Figura 4.42 Prueba de lectura 8cm.

Fuente: Elaborado por el autor

Prueba de lectura a 11cm:

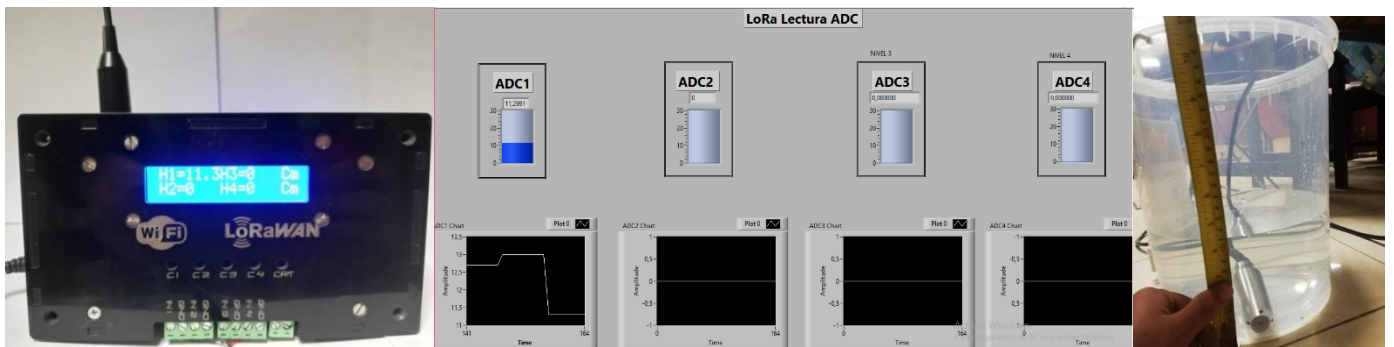


Figura 4.43 Prueba de lectura 11 cm.

Fuente: Elaborado por el autor

Prueba de lectura a 21cm:

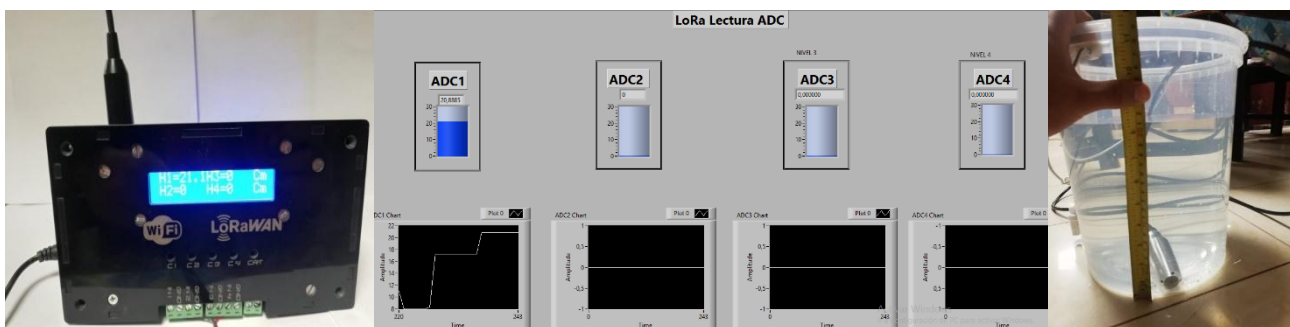


Figura 4.44 Prueba de lectura 21 cm.

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.10 Pruebas de Implementación

Las pruebas realizadas en la implementación son de lectura, envío y recepción de datos.

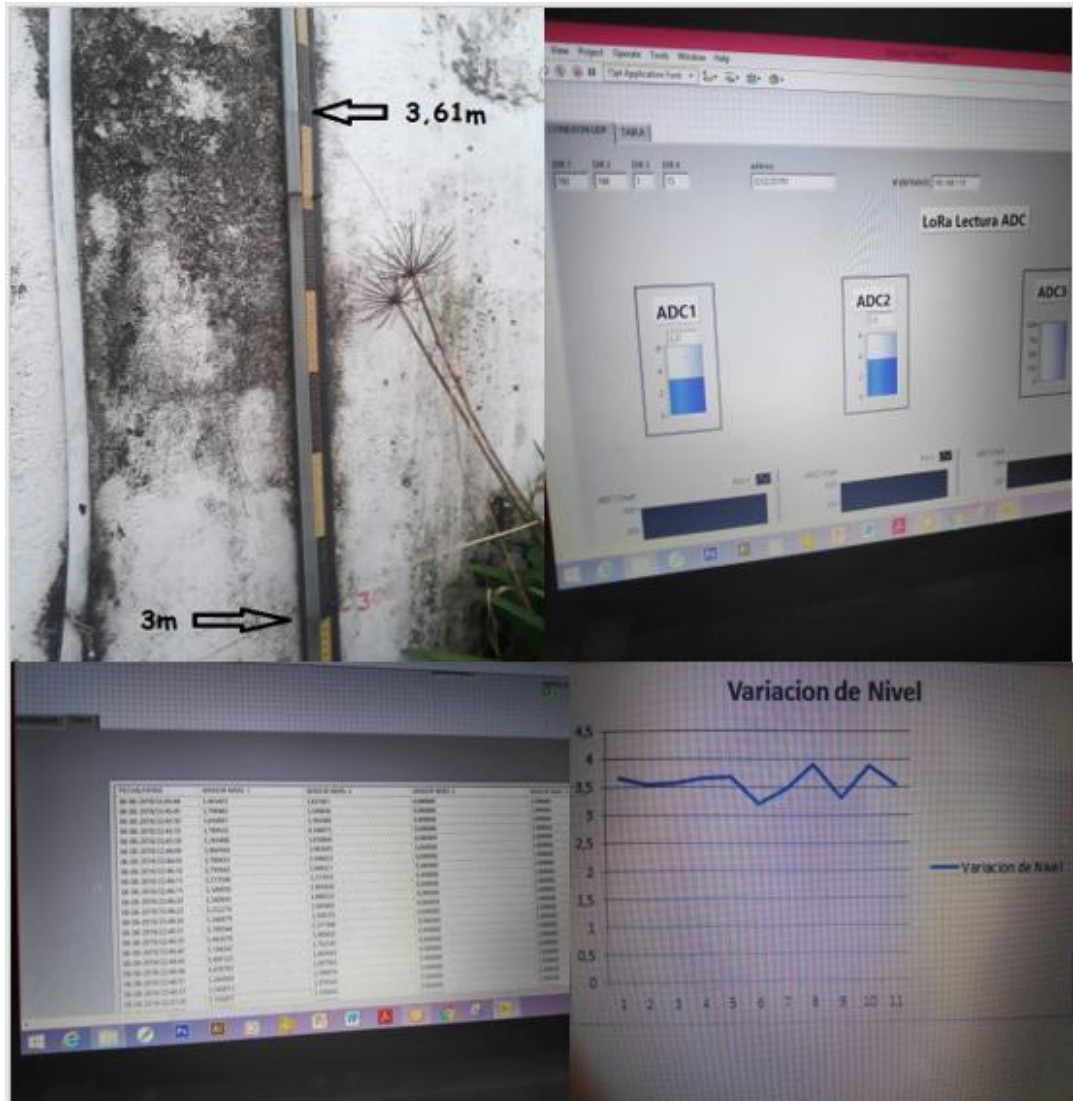


Figura 4.45 Prueba de lectura 21 cm.

Fuente: Elaborado por el autor

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las configuraciones se han realizado para un lugar ideal sin embargo en la implementación puede tener una variación pues hay que tomar en cuenta las condiciones y los factores externos.

4.4.1 Simulación del enlace en el software radio mobile

Se configura el nombre de la red, las frecuencias en las que los nodos van a trabajar, así también los porcentajes de tiempo, ubicación y situaciones, aquí también se debe escoger el clima de la zona en donde van hacer instalados los nodos.

La configuración de los parametros basicos para el enlace según las características de nuestros equipos y frecuencias de trabajo se muestra en la figura 4.45

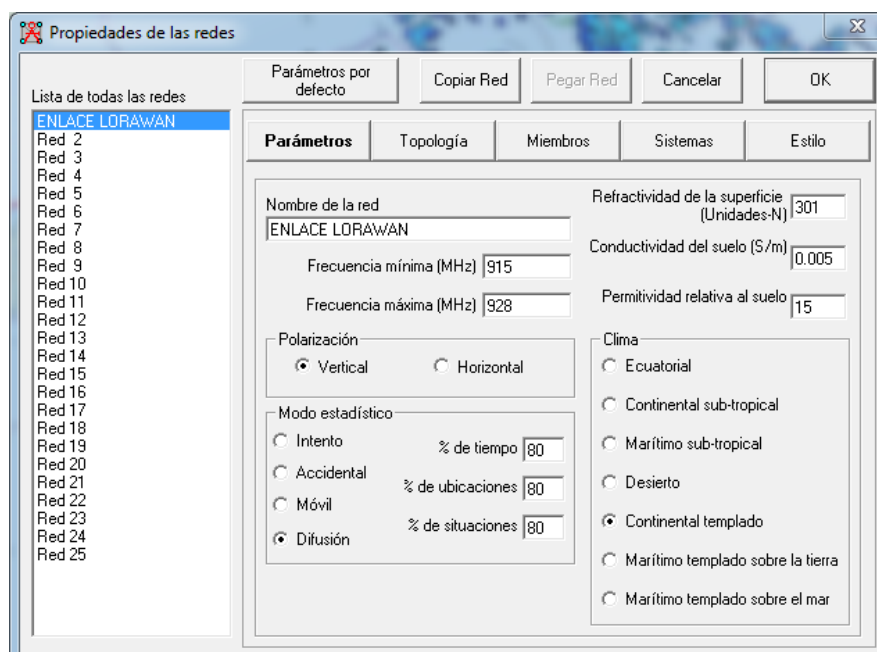


Figura 4.46 Configuración de parámetros de red

Fuente: Elaborado por el autor

La topología escogida para esta red es la topología estrella ya que el nodo master va ser nuestro transmisor y nodo esclavo nuestro receptor

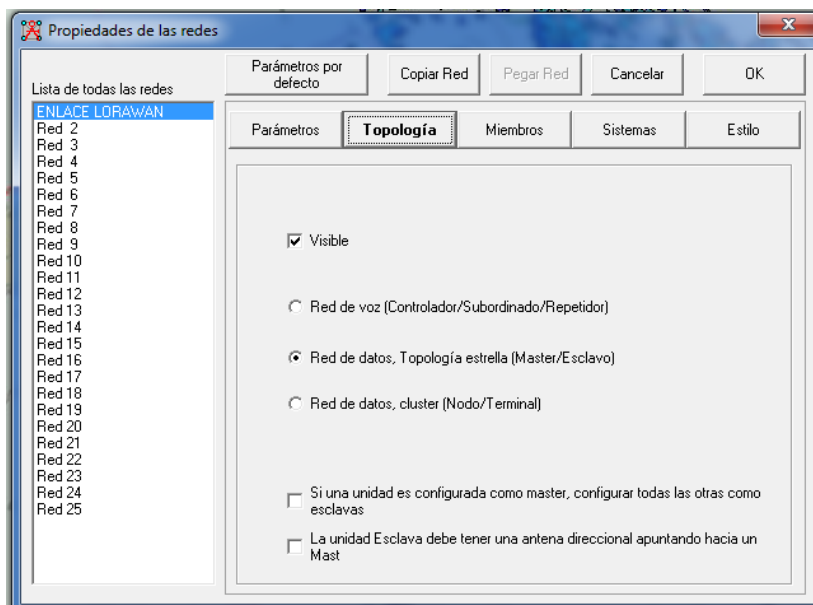


Figura 4.167 Configuración de topología de red

Fuente: Elaborado por el autor

4.4.2 Configuración del Transmisor TX

En la siguiente pantalla se va a configurar los parámetros en los que va a operar el nodo Transmisor TX, entre los que se encuentran la potencia, el tipo de antena, ganancia y altura.

La antena que usada en el desarrollo del prototipo tiene una ganancia de 2.71dBi

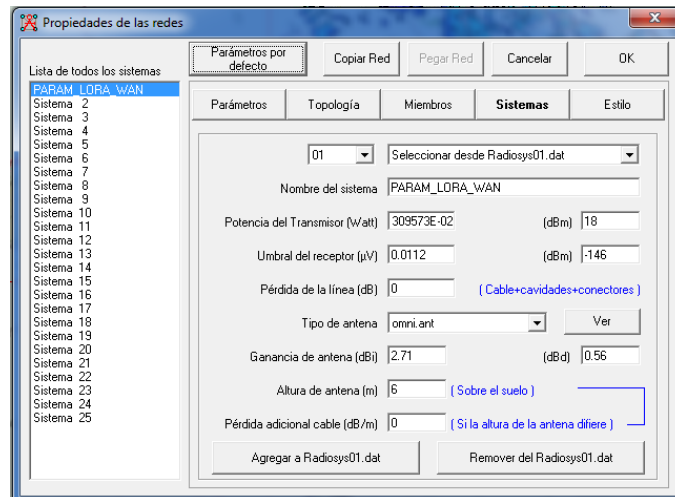


Figura 4.178 Configuración de parámetros del Transmisor TX

Fuente: Elaborado por el autor

Los miembros que integran esta red son: TX_LORAWAN y RX_OFICINAS

A continuación, se asignan los roles de cada miembro y las coordenadas en las que van a trabajar cada uno.

Al ser el nodo Transmisor TX el nodo que tramite los datos se debe como master

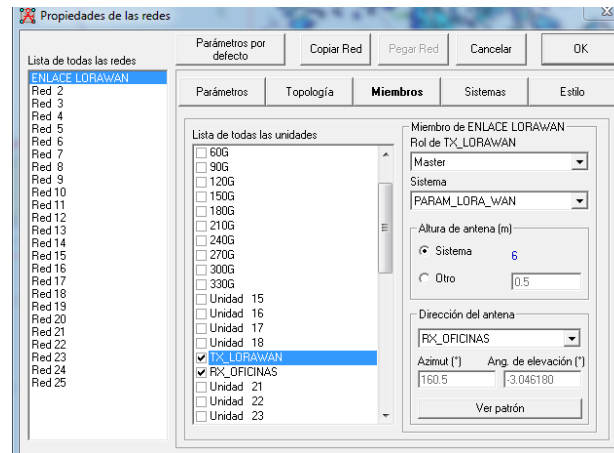


Figura 4.49 Configuración de Rol Transmisor TX

Fuente: Elaborado por el autor

Mientras que al nodo Receptor RX por ser el nodo que recibe los datos se lo debe configurar como Esclavo.

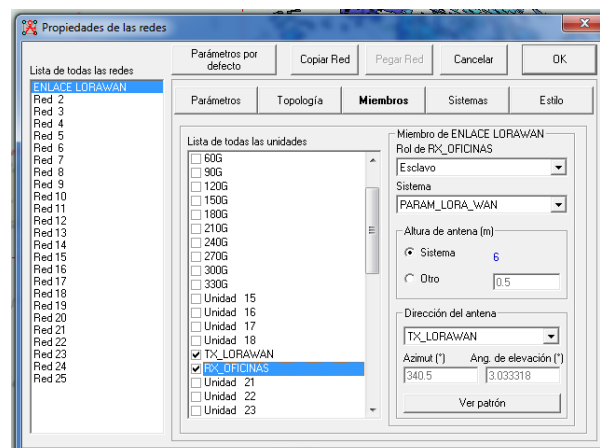


Figura 4.50 Configuración de Rol Receptor RX

Fuente: Elaborado por el autor

Se configura las coordenadas en las que va a ser colocado el equipo master TX, para la aplicación de este proyecto es en Cochapamba caserío de la parroquia Baños de la ciudad de Cuenca.

Figura 4.51 Configuración de coordenadas de la ubicación del Transmisor TX

Fuente: Elaborado por el autor

A continuación, se presenta un resumen general de la simulación del enlace y los cálculos obtenidos por el software Radio Mobile

Figura 4.5218 Resumen de configuración

Fuente: Elaborado por el autor

4.4.3 Modelos De Propagación

Modelo de Propagación Longley-ricce

El modelo de propagación utilizado en este proyecto es Longley-ricce, en una frecuencia de operación de 40MHz – 100GHz con un modelo predictivo estadístico.

Este perfil topográfico se puede obtener con el software radio mobile.

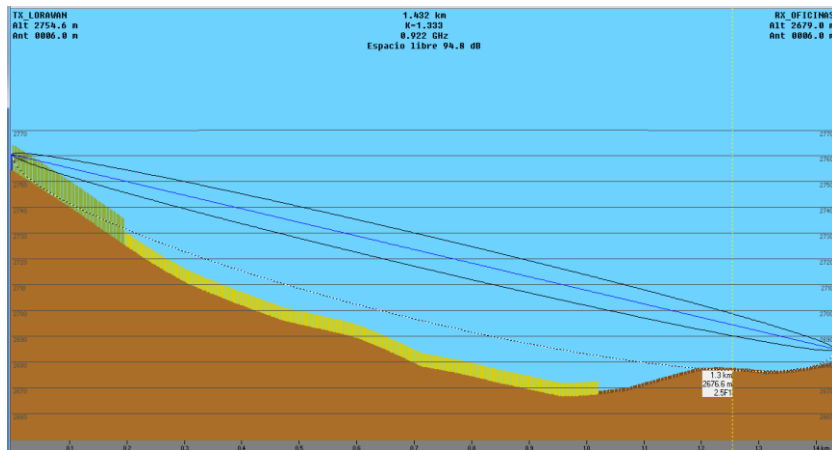


Figura 4.5319 Modelo de propagación Longley – rice

Fuente: Elaborado por el autor

Cálculos Utilizando El Modelo De Propagación: Longley Rice

Frecuencia De Operación Del Modelo: 40 Mhz-100 Ghz

Tipo De Modelo De Propagación: Predictivo Estadístico

Datos Del Enlace:

Parámetros En Transmisión:

Frecuencia De Operación: 915-928 Mhz

Potencia De Transmisión: 18 Dbm

Ganancia De Antena: 2.71 Dbi (0.56 Dbd)

Altura Base-Antena: 6m

Azimut: 160.5 Grados

Ángulo De Elevación: -3.0461 Grados

Parámetros En Recepción:

Frecuencia De Operación: 915-928 Mhz

Sensibilidad De Recepción: -146 Dbm

Ganancia De Antena: 2.71 Dbi (0.56 Dbd)

Altura Base-Antena: 6m

Azimut: 340.50 Grados

Angulo De Elevación: 3.033 Grados

Margen De Desvanecimiento:

$$M(dB) = P_{RX} - Umbral_{RX} \quad (1)$$

$$M(dB) = -86.1dBm - (-146dBm)$$

$$M(dB) = 59.9 dBm$$

Existe al menos 59.9 dB de margen de desvanecimiento para la factibilidad del enlace simulado.

Confiabilidad Del Enlace**Tabla 4.1 Confiabilidad del Enlace**

CONFIABILIDAD DEL ENLACE	
R	1
D (km)	1.43
f(Ghz)	0.915
Fm (dB)	59.9
A	1
B	0.125

Fuente: Elaborado por el autor

La confiabilidad del enlace presenta un valor del 100% en condiciones ideales, en la práctica este valor puede variar debido a condiciones o factores externos pero el asegurarnos un porcentaje ideal es debido a 2 factores:

- Distancia del enlace.
- Margen de desvanecimiento alto.

Modelo de Propagación Okumura-Hata

Para el diseño de redes de comunicaciones inalámbricas, este modelo es el más utilizado sin embargo solo proporciona un valor medio de las pérdidas de propagación en un entorno, aunque depende de la distancia en las que se encuentren los nodos; dichos valores pueden cambiar aún cuando solo se cambie la ubicación del móvil y se mantenga la distancia.

Este modelo aplica en frecuencias que se encuentren de 150 Mhz a 1500Mhz y con alturas de: estación base de 30m a 200m y de nodo móvil entre 1m a 10m.

La siguiente ecuación muestra lo descrito anteriormente

$$P_{Re\ c} = -L_b + P_t + G_T + G_R \quad (2)$$

Dónde:

$P_{Re\ c}$ = Potencia de señal recibida en el móvil o portátil

L_b = Pérdida de propagación según el entorno (O-H)

P_t = Potencia de transmisión

G_T = Ganancia antena transmisora

G_R = Ganancia antena receptora

Para obtener el valor del nivel de la señal que ingresa al receptor del móvil o portátil en los diversos entornos se debe obtener el valor de L_b para los diversos entornos. La expresión general para este término es:

$$L_b \text{ (dB)} = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log ht + (44,9 - 6,55 \log ht) \log d - a(hm) - K$$

Dónde:

f = Frecuencia en Mhz.

hm = Altura sobre el suelo de la antena Rx (m), entre 1 y 10 m.

d = Distancia entre Tx y Rx (Km), entre 1 y 20 Km.

$a(hm)$ = Factor de corrección por el valor de hm y entorno.

ht = Altura efectiva de la antena Tx (m) entre 30 y 200 m., para su cálculo se tiene en cuenta la altura media del terreno.

Donde $a(hm)$, es un factor de corrección de altura de antena receptora, que depende del entorno y el factor K es usado para corregir la fórmula que tiene en cuenta el tipo de área.

Obtención de la altura media del terreno (h_t)

Es el valor medio del terreno que se encuentra alrededor del nodo o antena transmisora, se traza radianes empezando por el norte con una separación de 45° , se mide las cotas del terreno cada 1 Km, empezando a los 3 Km de la radio base y terminando a los 15 Km.

EL promedio de estas mediciones será la altura media del terreno. Con el valor de la altura media del terreno se puede obtener el valor de la altura efectiva de la antena transmisora.

$$h_t = h_o + c_o - h_{mt} \quad (3)$$

Dónde:

h_o = altura de la antena sobre el suelo

c_o = cota del terreno al pie del mástil de la antena transmisora

h_{mt} = valor medio del terreno (si el desnivel del terreno es pequeño, se puede hacer a $h_t = h_o$)

$$f = 915Hz$$

$$h_t(m) = ?$$

$$h_m(m) = 6m$$

$$d = 1,43Km$$

$$a(hm) = 11.52m$$

$$C_o = 2754m$$

$$C_1 = 2711m$$

Cálculo de Área Efectiva

$$x_1 = d_1 = \frac{1}{\frac{43}{4}} = 0.357$$

$$x_2 = d_2 = d = 0.357$$

$$h_{tm} = \frac{1}{d_2 - d_1} * \frac{c_1 + c_0}{2} * (x_2 - x_1)$$

$$h_{tm} = \frac{1}{1.43 - 0.357} * \frac{1.43 - 0.357}{2} * (2754 + 2711)$$

$$h_{tm} = 2732.5m$$

$$h_t = h_o + c_o - h_{tm}$$

$$h_t = 6 + 2754 - 2732.5 = 27.5m$$

Se utiliza 30m como altura efectiva

$$h_t = 30m$$

$$L_b = 120.96dB$$

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - L_b + G_{Rx}$$

$$P_{Rx} = 18 + (0.56) - 120.96 + (0.56)$$

$$P_{Rx} = -101.84 dBm$$

$$M_D = P_{Rx} - Umbral_{Rx}$$

$$M_D = -101.84 - (-146)$$

$$M_D = 44.16dBm$$

Resumen de Resultados

	Potencia de Recepción dBm	Margen de Recepción en dBm	Diferencia dBm
Longley Rice (software radio mobile)	-86,1	59,9	15,74
Okumura-Hata	-101,84	44,16	15,74

Una vez realizado la simulación en Radio Mobile que utiliza el modelo Longley Rice y haber realizado los cálculos a mano utilizando el modelo de propagación de Okumura-Hata podemos observar que tenemos una diferencia de 15.74 dBm que para este caso estamos dentro del rango y seria no considerable, por qué el margen de desvanecimiento obtenido en los modelos de propagación utilizados para los cálculos nos indica que vamos a tener conectividad.

El mínimo de valor recomendado para un margen de desvanecimiento adecuado en enlaces radio eléctricos es al menos 10 dBm, el valor obtenido está muy por encima de lo recomendado.

CONCLUSIONES

Luego de realizar todos los procedimientos anteriormente mencionados podemos observar que utilizando los módulos LoRa para transmitir variables de nivel del agua, obtuvimos resultados favorables en transmisión a larga distancia atravesado por diferentes obstáculos, obtuvimos un enlace estable y recepción en tiempo real a una distancia de 6Km.

Se realizó el análisis utilizando dos modelos de propagación el primero mediante software (Radio Mobile) que utiliza el modelo de Longley Rice que es un modelo predictivo y se utiliza para enlaces fijos , y el segundo modelo utilizado es el modelo de Okumura-Hata que es un modelo en base a mediciones estadísticas que se utiliza para enlaces móviles, y que contempla 3 ambientes: Ambiente Urbano, Ambiente Sub-Urbano y Rural para nuestro caso utilizamos el ambiente Sub-Urbano ya que las pruebas fueron realizadas en la parroquia Baños del cantón Cuenca, una vez realizados los cálculos se obtuvo un margen de desvanecimiento de 44,16dBm y con el software radio mobile obtuvimos un desvanecimiento de 59,9dBm a su vez realizado la comparación entre los 2 modelos obtenemos la diferencia entre los dos modelos de 15,74dBm, con este análisis podemos concluir que tenemos un enlace confiable ya que el margen mínimo de desvanecimiento recomendado para enlaces radioelétricos es de 10dBm. El valor de margen de desvanecimiento obtenido en este enlace está muy por encima de lo recomendado.

Las diferentes pruebas que se realicen con los dispositivos ayudan a encontrar y corregir errores a tiempo, estos ayudan para que el funcionamiento en la implementación sea confiable y sin retardos.

RECOMENDACIONES

Para que no existan pérdidas y retardos en la información y en distancias más largas se debería implementar más nodos.

Como cada nodo va a ser instalado en zonas donde no hay cobertura telefónica ni de internet en muchas ocasiones tampoco se va a contar con energía eléctrica por lo que es necesario que los nodos cuenten con baterías eficientes; que la descarga sea baja, cuenten con una protección contra corto circuitos y con el fin de proteger el medio ambiente también sean amigables con el mismo por lo que se recomienda que las baterías seleccionadas sean de Li-ion , incluso la utilización de celdas solares.

Realizar un mantenimiento preventivo a los equipos por lo menos 3 veces al año para evitar que algún componente se averíe, si en estos mantenimientos se detecta que algún componente se ha dañado el cambio debe ser inmediato para no perder la comunicación y permitir que los dispositivos sigan trabajando, se recomienda implementar una caja ip68.

Se debe capacitar a los usuarios involucrados en el proceso para que tomen las acciones preventivas o correctivas según sea el caso.

Se puede optimizar el funcionamiento de este prototipo ya que con los datos obtenidos dando rangos de valores se puede automatizar o domotizar equipos, como por ejemplo apertura o cierre de válvulas para este caso.

BIBLIOGRAFÍA

- Aakvaag, N., & Frey, J. (2006). "Redes de sensores inalámbricos", *Revista ABB*, pp.39-42.
- Aguilar, D., Leon, P., Alvarez, J., Aguilar, C., & Marinez, S. (2016). "Evaluation and analysis of a prototype wireless sensor for monitoring critical infrastructures in bridges. In Automatica (ICA-ACCA)". *IEEE International Conference*, pp.1-6.
- Alcaraz, M. (2014). "Internet de las Cosas." . *Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción*.
- AlfaIoT. (2018). *Una tecnología LPWAN para IoT*. Disponible en web: <https://www.alfaiot.com/index.php/es/2018/05/26/que-es-lora/> [Consulta: 26 de septiembre de 2018]
- Álvarez, R. (2016). *El estándar Wi-Fi 802.11ac se actualiza y nos trae más velocidad y mayor ancho de banda*. Disponible en web: <https://www.xataka.com/perifericos/el-estandar-wi-fi-802-11ac-se-actualiza-y-nos-trae-mas-velocidad-y-mayor-ancho-de-banda> [Consulta: 01 de septiembre de 2018]
- Arcotel. (2018). *Espectro Radioeléctrico*. Disponbile en web: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/> [Consulta:15 de septiembre de 2018]
- Beelan. (2017). *Haciendo IoT con LoRa*. Disponible en web: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8> [Consulta: 15 de septiembre de 2018]
- Cáceres, S. (2017). *Haciendo IoT con LoRa*. Retrieved from . Disponible en web: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-cap%C3%ADtulo-1-qu%C3%A9-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8> [Consulta: 01 septiembre de 2018]
- Camargo Olivares, J. L. (2009). "Modelo de cobertura para redes inalámbricas de interiores".
- Castro, M. (2016). *Internet de las Cosas. Privacidad y Seguridad*. Disponible en web https://sinbad2.ujaen.es/sites/default/files/publications/Memoria_0.pdf [Consulta: 08 octubre de 2018]

- Cedres, M. (s.f). *Sensores y dispositivos de medición*. Escuela: E.E.T.N°2. Disponible de web, de <http://perso.wanadoo.es/aldomartin/sensor1.htm> [Consulta: 25 de octubre de 2018]
- Coñapes, S. (2015). Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) - Redes Inalámbricas. <https://sites.google.com/site/redesinalambricas3/tipos-de-redes-inalambricas/wi-fi>. [Consulta: 01 septiembre de 2018]
- Córdova, M. N., & Monsalve, C. (s.f.). *TIPOS DE INVESTIGACIÓN*.
- Comunicación e Investigación 3. (09 de 08 de 2012). *Revisión Documental*. Disponible en web <https://comunicacioneinvest3.wordpress.com/2012/08/09/revison-documental/> [Consulta: 01 agosto de 2018]
- Delgado, C. (2015). *Redes inalámbricas de área personal (WPAN) - Redes Inalámbricas*. Disponible en web <https://sites.google.com/site/redesinalambricas3/tipos-de-redes-inalambricas/bluetooth> [Consulta: 12 de agosto de 2018]
- Escudero, A. (2007). *Es tándares en Tecnologías Inalámbricas*. Disponible en web http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/02_es_estandares-inalambricos_guia_v02.pdf [Consulta: 01 septiembre de 2018]
- Flores, L. C. (n.d). Modelo de optimizacion del diseño de una red wimax para dar cobertura a un conjunto de puntos geográficamente distantes.
- Garbarino, J. (2012). Protocolos Para Redes Inalambricas de Sensores. *Editorial Acad Mica Espa*.
- Hurtado de Barrera, J. (21 de 12 de 2008). *Investigación holística*. Disponible en web <http://investigacionholistica.blogspot.com/2008/02/la-investigacin-proyectiva.html> [Consulta: 01 diciembre de 2018]
- INCAE. (26 de 01 de 2017). *El enfoque sistématico y sistemático en un proyecto*. Disponible en web <https://www.incae.edu/es/blog/2017/01/26/el-enfoque-sistemico-y-sistemico-en-un-proyecto.html> [Consulta: 01 octubre de 2018]
- Industrial Internet Consortium. (2018). *The Industrial Internet Consortium Publishes Industrial IoT Analytics Framework Technical Report*. Disponible en web <https://www.businesswire.com/news/home/20171024005049/en/Industrial-Internet-Consortium-Publishes-Industrial-IoT-Analytics> [Consulta: 10 septiembre de 2018]

- liferder.com. (11 de 05 de 2019). *Método analítico de investigación: características y ejemplos*. Disponible en web <https://www.liferder.com/metodo-analitico-sintetico/> [Consulta: 11 de mayo de 2019]
- Microchip Technology Inc. (2015-2019). *Low-Power Long Range LoRa Technology Transceiver Module*.
- Munca, R., & Daniel, J. (2017). Dispositivo LoRa de comunicación a largo alcance y bajo consumo energético para aplicaciones del ámbito del desarrollo.
- Nayibe, C. C., Alexander, T. B., Cristina, A. Z., & Miguel, C. O. (2011). Redes de Sensores Inalámbricos. *Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica-UNAB 2011*.
- Omega. (n.d). *Sensores inalámbricos*. Disponible en web <https://es.omega.com/prodinfo/sensores-inalambricos-transmisores.html>
- PID -Prácticum E.F. (11 de 05 de 2019). *El método de observación como instrumento de análisis*. Disponible en web https://www.ugr.es/~rescate/practicum/el_m_todo_de_observaci_n.htm [Consulta: 11 mayo de 2019]
- QuestionPro. (10 de 05 de 2019). *Qué es una investigación de campo*. Disponible en web <https://www.questionpro.com/es/investigacion-de-campo.html>[Consulta: 30 mayo de 2018]
- Ranchal, J. (2014). *¿Qué ventajas ofrece Wi-Fi 802.11n?* . Disponible en web <https://www.muycanal.com/2014/08/07/wi-fi-802-11-n> [Consulta: 01 septiembre de 2018]
- Rueda, J. S., & Potocarrero, J. M. (2017). (2017). Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora. *Revista Colombiana de Computación*, 58-74.
- Salazar Soler, J. (2016). *Redes inalámbricas*.
- Taoglas Ltd. (31 de 07 de 2009 - 2018). *taoglas antenna solution Specification*. Disponible en web <https://www.i-components.fi/components/Taoglas/FW.95.B.SMA.M.html> [Consulta: 12 marzo de 2018]

- Thread Group. (2018). *What is Thread*. Disponible en web <https://www.threadgroup.org/What-is-Thread> [Consulta: 20 de abril de 2018]
- Useche, T., Camilo, J., Leguizamo, R., & Estiven, R. (n.d). Prototipo de Solución Iot con Tecnología Lora en Monitoreo de Cultivos Agrícolas.
- wika. (05 de 08 de 2019). *Sonda de pozo para medidas de nivel Modelo LS-10, versión estándar*.
- Yunquera, J. (n.d). *Diseño para una red Wi-Fi para la E.S.I* . Disponible en web <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11138/fichero/memoria%252FCap%C3%A Dtulo+3.pdf> [Consulta: 15 de marzo de 2018]
- Zepeda Solís, R. (2008). *Control de temperatura en proceso insdutriales por medio de puerto Rs232- e interfaz LabView*. Tesis Institucionales, Instituto Politécnico Nacional - IPN. Disponible de web, <https://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/104/Tesiszepedasolis.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consulta: 01 septiembre de 2018]

ANEXOS

ANEXO N°1: MANUAL DE USUARIO

1. Colocación de Módulos (Emisor y Receptor Gráficos Transmisor).

1.1 Retire la antena (fig.1)



Figura 1

1.2 Retire los 4 tornillos ubicados en los extremos del transmisor LoRa (fig.2)



Figura 2

1.3 Levante la tapa cuidadosamente (fig.3)

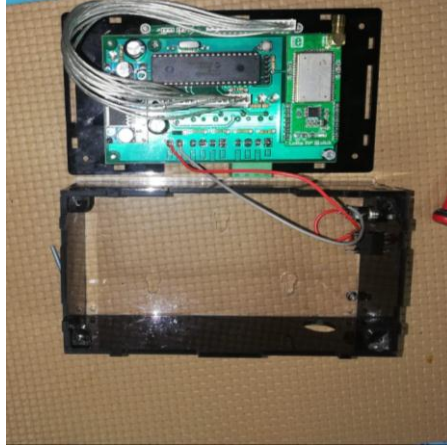


Figura 3

1.4 Marque el Lugar donde se Instalará Procure que tenga una altura considerable (fig.4)



Figura 4

1.5 Coloque la tapa y atornille el modulo LoRa (fig.5)



Figura 5

1.6 Coloque la Antena Nuevamente a su Transmisor LoRa (fig.6)



Figura 6

1.7 Inserte el conector de la fuente en el indicador 12Vdc (fig.7)



Figura 7

1.8 Enciéndalo y verifique que se ilumine el display (fig.8)



Figura 8

2. Colocación de Sensor Hidrostático

2.1 Ubique el sensor correctamente conectando positivo (Rojo) a 12v y negativo (Negro) a una de las entradas entre in1, in2, in3 o in4. (fig.9)



Figura 9

2.2 Coloque el sensor en el lugar donde necesite medir la altura del nivel (fig.10)



Figura 10

2.3 Encienda el dispositivo y verifique que el dispositivo marque en la entrada en la que se colocó. (fig.11)



Figura 11

3. Enlazar dispositivos LoRa Transmisor y Receptor.

3.1 Encienda el Receptor hasta que en la pantalla se muestre LoRa Config... (fig.12)

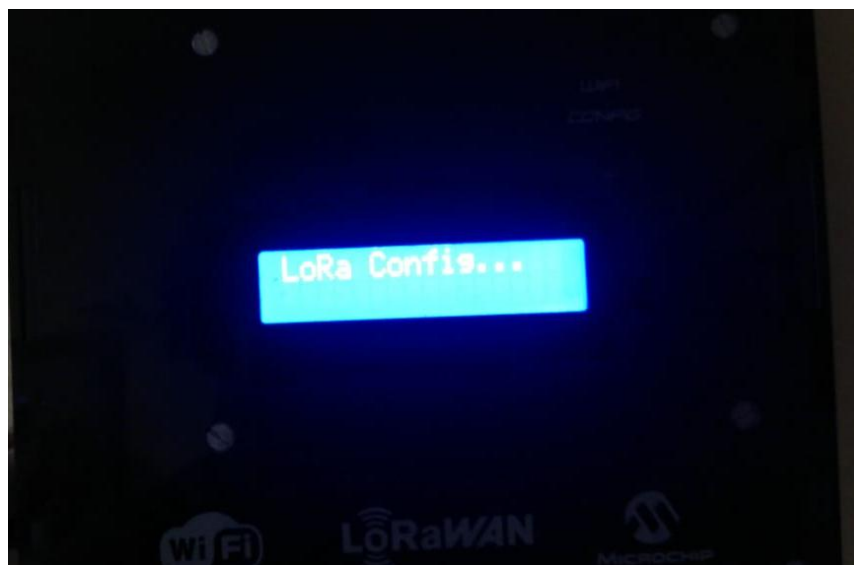


Figura 12

3.2 Luego de 2 segundos de encendido el Receptor encienda el transmisor LoRa (fig.13)



Figura 13

3.3 Espere 6 segundos y verifique que coincidan los valores del transmisor y receptor. (fig.14)



Figura 14

4. Calibración de Sensor hidrostático

4.1 Mida El Valor Aproximado Con un flexómetro(fig.15)

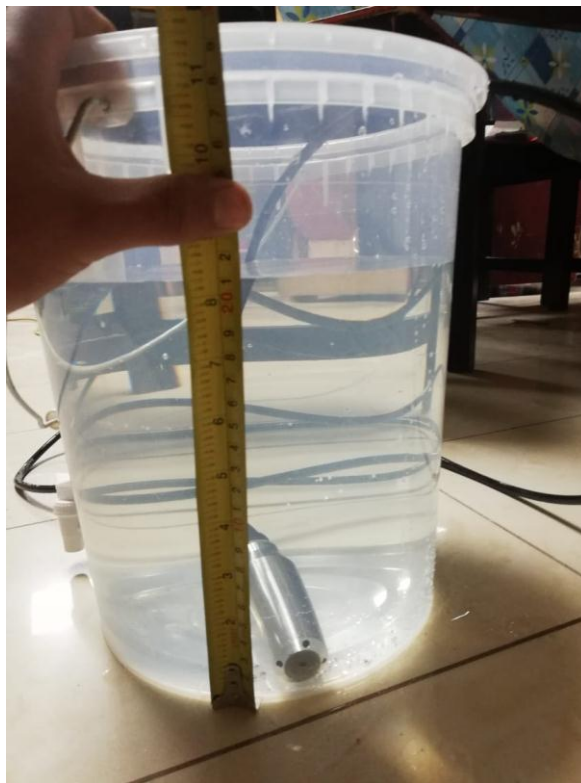


Figura 15

4.2 Coloque el desarmador estrella en la entrada en la cual colocó el sensor y realice movimientos a la izquierda para disminuir el valor de la altura o para la derecha para aumentar el valor de la altura (fig.16)



Figura 16

4.3 Verifique que los valores coincidan o se aproximen lo más cercano posible.

ANEXO 2: MANUAL TÉCNICO

1. Introducción a dispositivo LoRa.

El dispositivo de transmisión LoRa Click se le ha integrado un microcontrolador 18F45K22 con la finalidad de transmitir y visualizar variables industriales emitidas por dispositivos que trabajen con señales de 4 a 20mA, las cuales se debe realizar una tabla de muestreo con lo cual se debe obtener una ecuación para transformación de datos como posteriormente se indicara más adelante en el manual, además LoRa Click a sido probado y tiene un alcance de 6km con obstáculos y 15km en línea de vista directa.

2. Obtención de la Ecuación para transformación de datos. (Demostración con sensor de nivel hidrostático)

2.1 Abrir el Programa Tx desarrollado en mikroC

Ubicar esta parte del Programa (fig.1)

```
float ecuacion(int adc);
float ecuacion(int adc){
float nivel=0;
nivel=((float)adc-164.21)/3.3432;
return nivel;
}
```

Figura 1

Y eliminar lo que se muestra a continuación para obtener solo valores analógicos (fig.2)

```
float ecuacion(int adc);
float ecuacion(int adc){
float nivel=0;
nivel=((float)adc);
return nivel;
}
```

Figura 2

Dar click en el siguiente botón para generar hex. (fig.3)

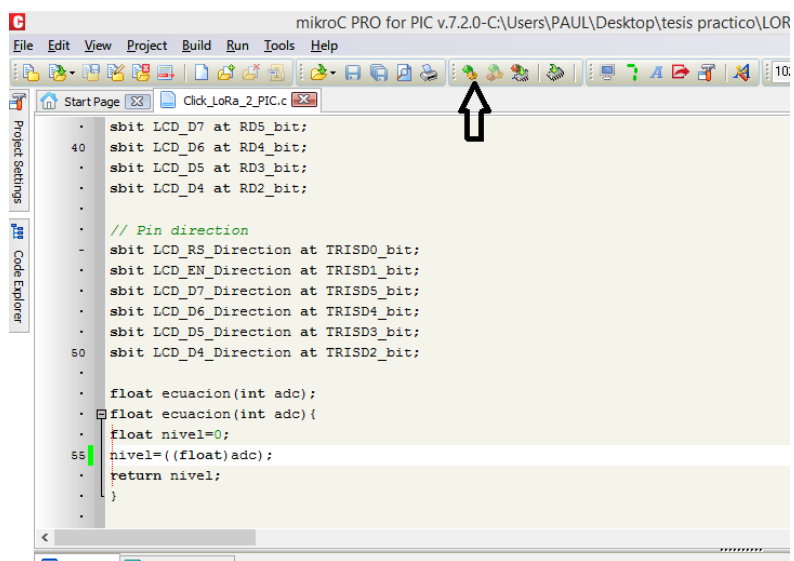


Figura 3

2.2 Generar el hex y grabar en microcontrolador

2.2.1 Conecte el grabador como se muestra a continuación. (fig.4)

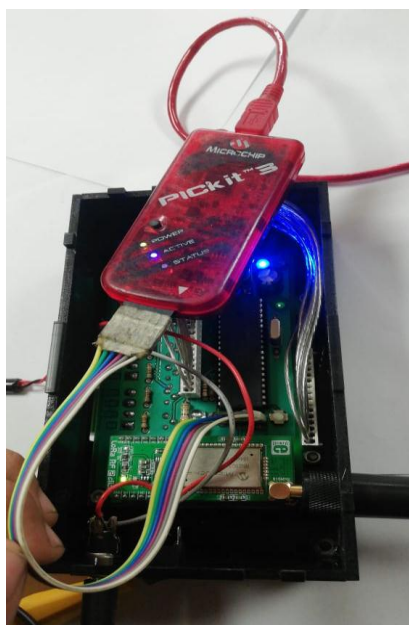


Figura 4

2.2.2 Abra el pickit e importe el hex generado por mikro C (fig.5)

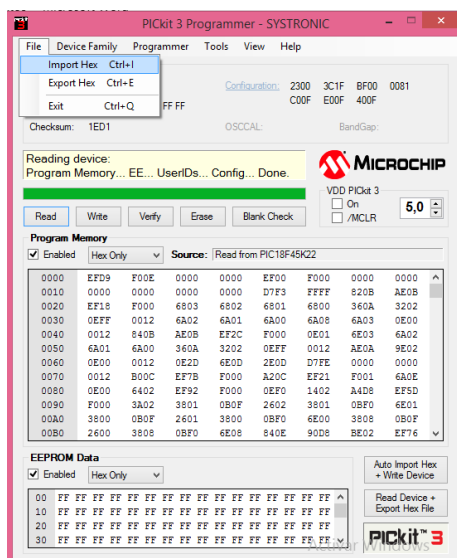


Figura 5

Seleccione la ruta en donde se guardó el proyecto (fig.6)

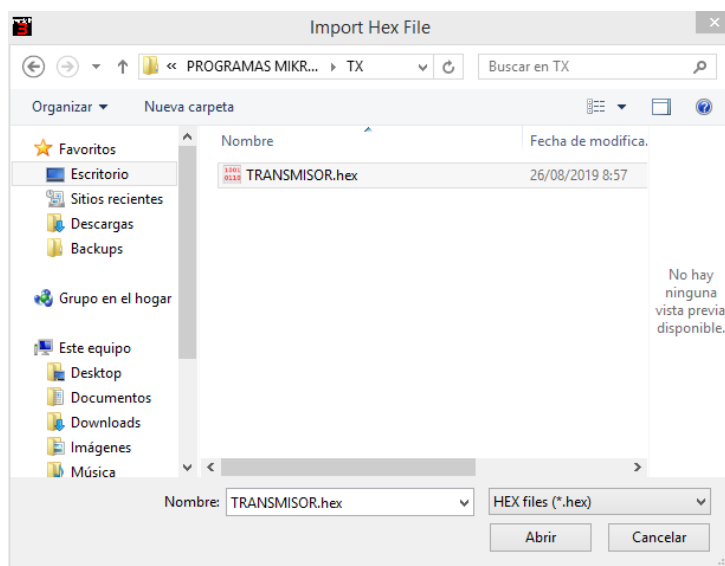


Figura 6

De click en Write (fig.7)

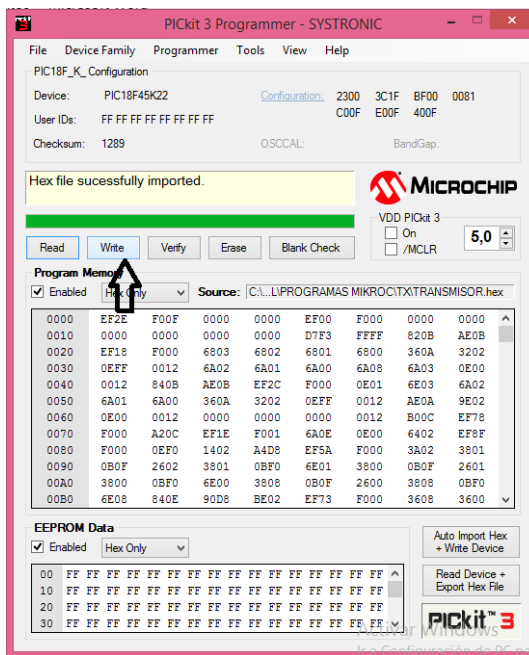


Figura 7

2.3 Selección de las muestras

Para la selección de la muestra basta con 2 pares de datos para generar una ecuación, pero para mayor precisión de datos se debe seleccionar el mayor número de muestras en este caso de 5-25cm tomados de 1 en 1.

2.3.1 Muestra a 25 cm Rango de Valores analógicos 248-250 (fig.8)



Figura 8

Valor Medido (fig.9)



Figura 9

2.3.2 Muestra a 24 cm Rango de Valores analógicos 244-245 (fig.10)

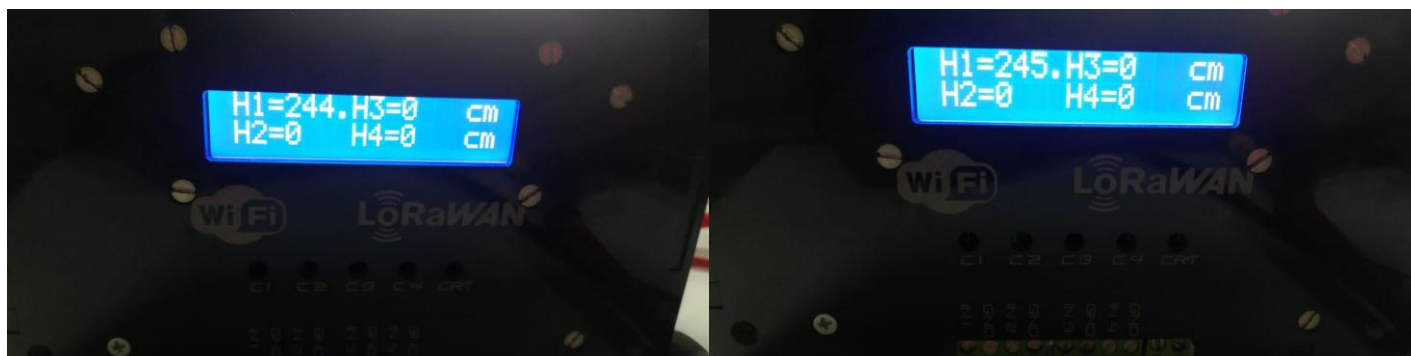


Figura 10

Valor Medido (fig.11)

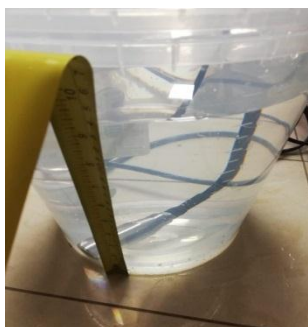


Figura 11

2.3.3 Muestra a 23cm

Rango de Valores analógicos 241-242 (fig.12)

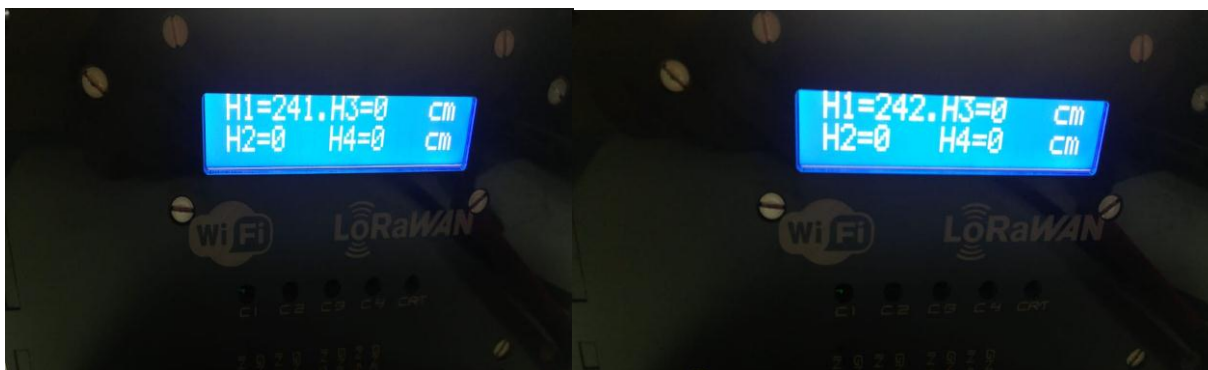


Figura 12

Valor Medido (fig.13)

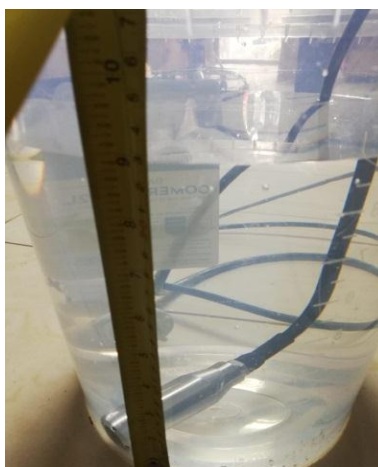


Figura 13

Realizar el mismo Procedimiento para las demás muestras

2.4 Tabulación y Obtención de Ecuación Polinomio

2.4.1 Tabular Pares de datos (fig.14)

	A	B	C	D		Nivel	Lectura	Nivel2	Lectura
1	Nivel	Lectura	Nivel2	Lectura	24	17	220		
2		25	250		25	17	219		
3		25	249		26	16	217		
4		25	248		27	16	218		
5		24	244		28	15	212		
6		24	245		29	15	213		
7		23	241		30	15	214		
8		23	242		31	15	215		
9		22	238		32	14	211		
10		22	239		33	14	210		
11		21	233		34	13	207		
12		21	234		35	13	208		
13		21	235		36	12	204		
14		20	230		37	12	205		
15		20	231		38	11	200		
16		20	232		39	11	201		
17		19	228		40	10	198		
18		19	229		41	10	199		
19		18	225		42	10	200		
20		18	224		43	9	195		
21		18	223		44	9	194		
22		18	222		45	8	191		
23		17	221		46	8	192		
24		17	220		47	7	188		
25		17	219		48	7	187		
26		16	217		49	6	186		
27		16	218		50	6	185		
28		15	212		51	6	184		
29		15	213		52	5	182		
30		15	214		53	5	181		
31		15	215		54	5	179		
32		14	211		55	4	177		
33		14	210		56	4	178		
34		13	207						

Figura 14

2.4.2 Obtencion de la ecuacion

Seleccionar Datos y aplicar en la columna insertar grafico por dispersion con marcadores como se muestra a continuacion (fig.15)

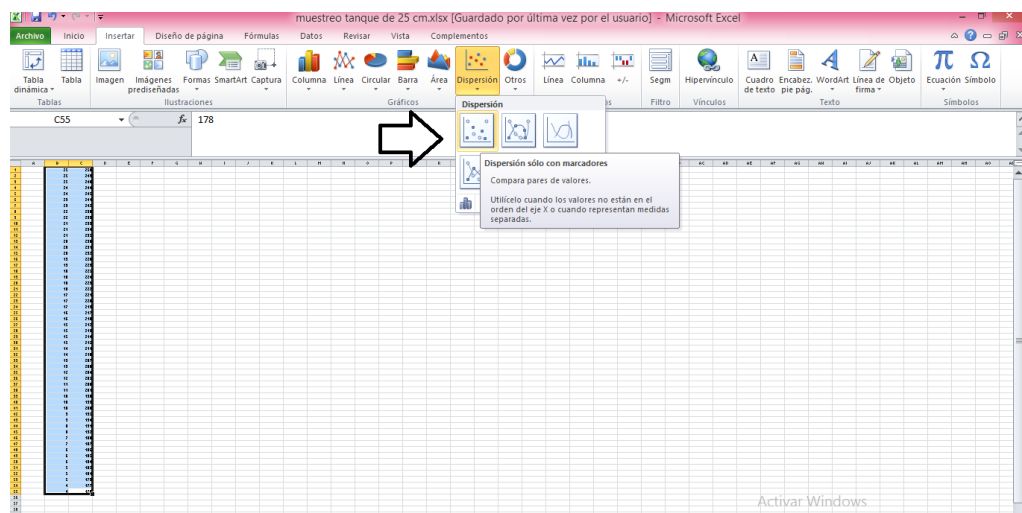


Figura 15

Esperar que aparezca el grafico de la función dar click derecho sobre uno de los ítems en color azul y seleccionar (agregar línea de tendencia) tal como se muestra a continuación (fig.16)

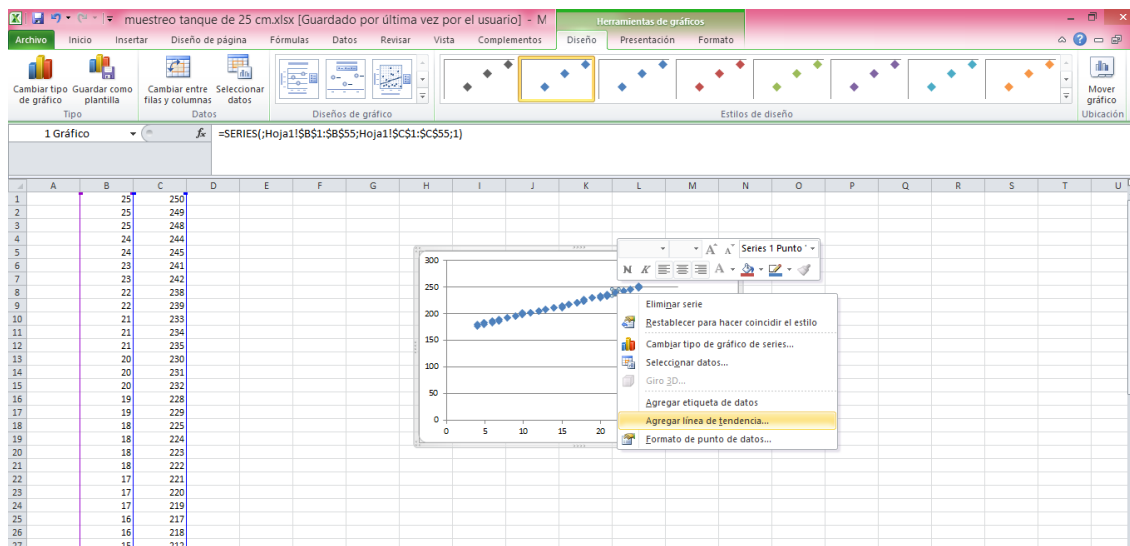


Figura 16

En el menú desplegable marcar la siguiente opción y dar click en cerrar (fig.17)

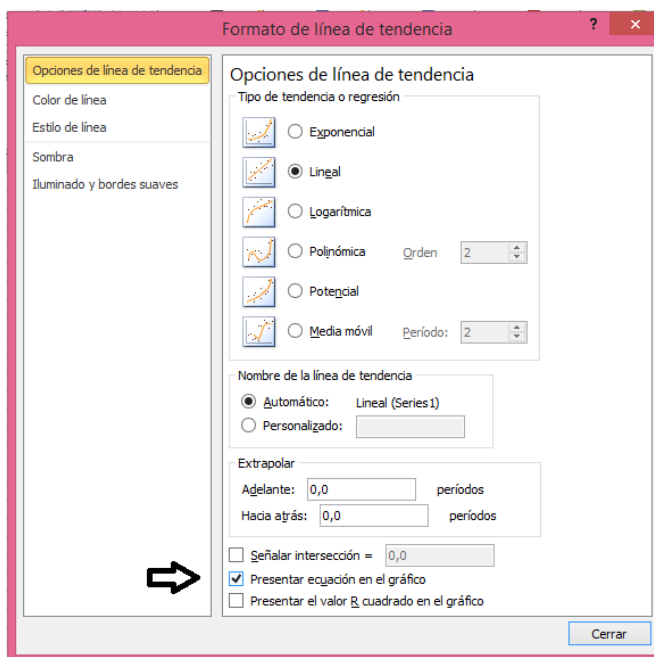


Figura 17

A continuación, se mostrará la ecuación en el grafico en la cual (x) representa la altura y (y) representa el valor analógico (fig.18)

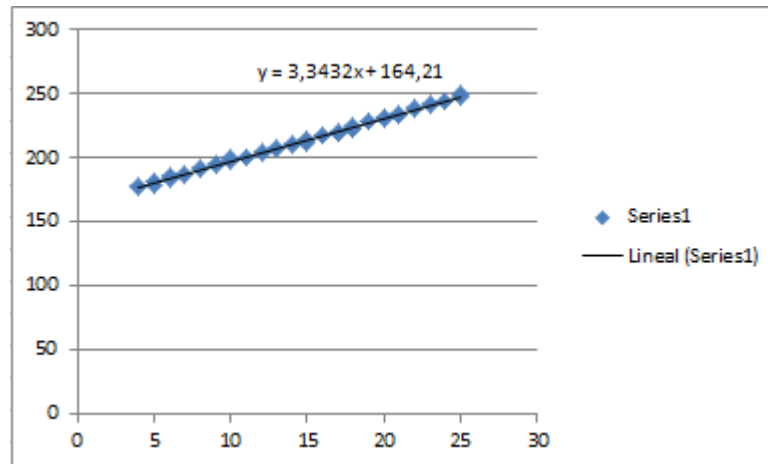


Figura 18

Como nuestro microcontrolador receipta el valor analógico para transformarlo en altura debemos despejar (x) la cual tomaría la siguiente forma. (fig.19)

$$x = \frac{(y - 164.21)}{3.3432}$$

Figura 19

Retomando el trozo de código inicial (fig.20)

```
float ecuacion(int adc);
float ecuacion(int adc){
float nivel=0;
nivel= ((float) adc);
return nivel;
}
```

Figura 20

Nivel es nuestra variable (x), (float (adc)) es nuestra variable (y) por lo tanto la ecuación quedaría de la siguiente forma (fig.21)

```
float ecuacion(int adc);
float ecuacion(int adc){
float nivel=0;
nivel= ((float)adc-164.21)/3.3432;
return nivel;
}
```

Figura 21

En este caso la subrutina ecuación pertenece a In1 en el mismo código desarrollado en mikro C existe 3 subrutinas con los nombres ecuación 1, ecuación 2 ecuación 3, que corresponden a in2, in3 e in4, respectivamente, si se desea aplicar a otra entrada que no sea in1 solo se debe buscar la subrutina a la que corresponda dicha entrada.

Dar click en el siguiente botón para generar hex. (fig.22)

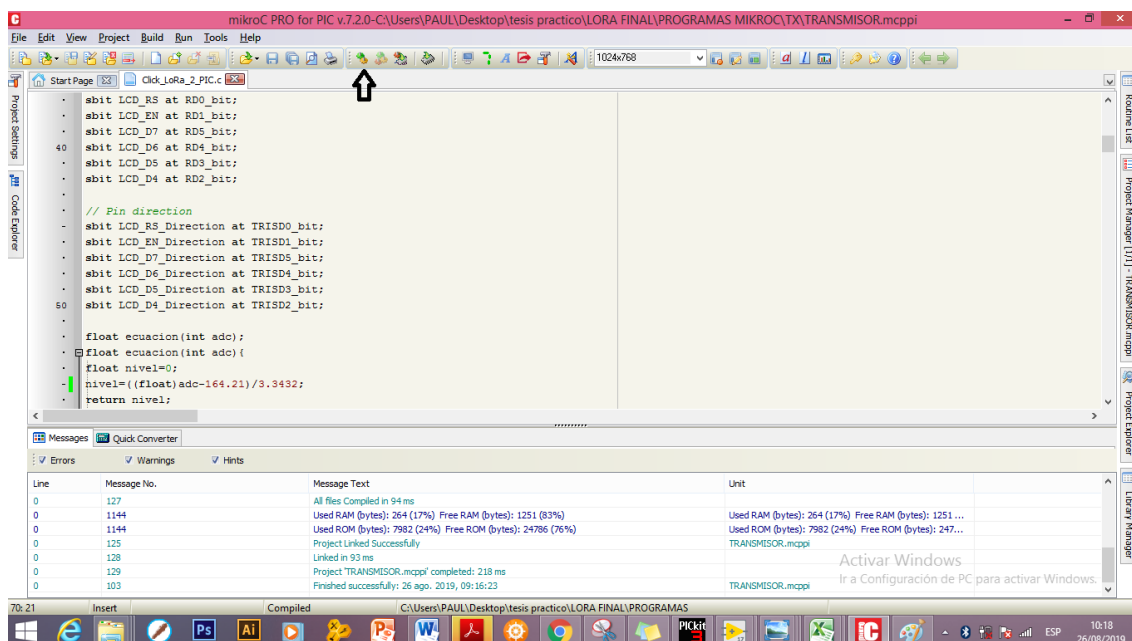


Figura 22

Repetir los pasos indicados en el apartado 2.2 para grabar el nuevo código hex.

2.5 Verificar el correcto funcionamiento

Como se puede observar en los siguientes 2 gráficos el nivel de diferencia del medidor digital con el flexómetro es de 0.3cm el cual se lo puede tomar como despreciable. (fig.23)

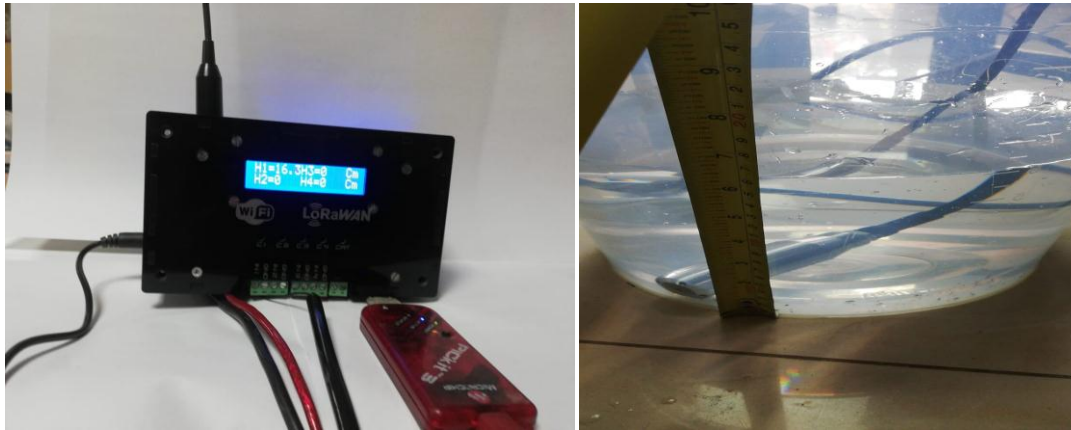


Figura 23