



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y CONTROL DE LAS ESTACIONES DE**  
**LOS TANQUES DE RESERVA DE JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA**  
**POTABLE DE LA PARROQUIA PICAIHUA**

---

**Trabajo de Titulación Modalidad:** Proyecto de Investigación, presentado previo a  
la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones

**ÁREA:** Comunicaciones

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnologías de comunicación

**AUTOR:** Christian Wladimir Supe Palate

**TUTOR:** Ing. Mg. Giovanni Danilo Brito Moncayo

**Ambato – Ecuador**

**marzo – 2023**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y CONTROL DE LAS ESTACIONES DE LOS TANQUES DE RESERVA DE JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA PICAIHUA, desarrollado bajo la modalidad proyecto de investigación por el señor Christian Wladimir Supe Palate, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2023.

-----  
Ing. Mg. Geovanni Danilo Brito Moncayo  
TUTOR

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y CONTROL DE LAS ESTACIONES DE LOS TANQUES DE RESERVA DE JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA PICAIHUA, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2023.



---

Christian Wladimir Supe Palate

C.C. 1804228474

AUTOR

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2023.



---

Christian Wladimir Supe Palate

C.C. 1804228474

AUTOR

## **APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Christian Wladimir Supe Palate, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y CONTROL DE LAS ESTACIONES DE LOS TANQUES DE RESERVA DE JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA PICAIHUA, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2023.

-----  
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

-----  
Ing. Clara Sánchez Benítez, Mg.  
PROFESOR CALIFICADOR

-----  
Ing. Andrea Sánchez Zumba, Mg.  
PROFESOR CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado especialmente a todas aquellas personas que me apoyaron en toda mi carrera universitaria, mi madre María Palate, mis hermanos Nelson, Wilmer, Pedro y mi hija Verenise por ser mi apoyo y motivación, a mis amigos Walter, Ludving, Viviana, Andrés, Carlos y Cristina, por su amistad incondicional en los momentos felices y tristes, a la vez un saludo especial a mis amigos Luis, Ludwing y David. A mis docentes de la universidad, que con sus consejos me ayudaron a no rendirme y seguir luchando por mi sueño.

Christian Wladimir Supe Palate

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Dios por darme la sabiduría y fortaleza para no rendirme jamás, por todas sus bendiciones recibidas y a mi padre que en paz.

A la facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial por abrirme sus puertas, a los docentes que fueron parte de este grandioso proceso compartiendo su amistad y saberes, al ingeniero Giovanni Brito por ser mi guía en el desarrollo de este proyecto.

Agradecimientos a todos amigos y compañeros de universidad por todos los momentos buenos y malos compartidos a lo largo de la carrera de todo corazón gracias por su amistad y apoyo. Dios les bendiga a todos.

Christian Wladimir Supe Palate

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Tema de investigación .....	1
1.2. Antecedentes investigativos .....	1
1.2.1. Contextualización del problema.....	4
1.2.2. Fundamentación Teórica.....	5
1.3. Objetivos .....	13
1.3.1. Objetivo General .....	13
1.3.2. Objetivos Específicos .....	13
CAPÍTULO II.....	14
METODOLOGÍA.....	14
2.1. Materiales.....	14
2.2. Métodos.....	14



2.2.1.	Modalidad de Investigación .....	14
2.2.2.	Recolección de Información.....	15
2.2.3.	Procesamiento y Análisis de Datos .....	15
2.2.4.	Desarrollo del proyecto.....	15
CAPÍTULO III .....		17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		17
3.1.	Análisis y discusión de resultados .....	17
3.2.	Análisis de Factibilidad.....	17
3.3.	Diseño del sistema de comunicación e implementación del prototipo .....	17
3.3.1.	Sistema de Comunicación.....	17
3.3.2.	Sistema de Control.....	18
3.3.3.	Diagrama del sistema de comunicación del prototipo .....	18
3.3.3	Etapa envío de datos por la red de área local.....	29
3.4	Diseño del sistema Real.....	31
3.4.3	Requerimientos técnicos de equipos propuestos .....	34
3.4.4	Planificación radioeléctrica.....	37
3.4.5	Datos y Resultados del Sistema de comunicación Inalámbrica .....	40
3.4.5.1.	Datos y resultados en el Simulación Radio Mobile .....	40
3.4.5.2	Datos y resultados de forma matemática .....	45
3.4.6	Detalles de los emplazamientos .....	50
3.4.7	Direccionamiento Lógico .....	52
3.5	Análisis de Costos.....	53
3.5.1.	Presupuesto del prototipo.....	53
3.5.2	Presupuesto para la implementación del sistema de comunicación .....	54
CAPÍTULO IV .....		59
4.1.	CONCLUSIONES.....	59
4.2.	RECOMENDACIONES.....	60

BIBLIOGRAFÍA .....	61
ANEXOS.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Estándares Físicos [15][19] .....	11
Tabla 2.	Comparación tecnologías inalámbricas [18] .....	12
Tabla 3.	Tabla de comparación de micro controlador [20] [21][22] .....	19
Tabla 4.	Características técnicas de sensores [24][25][26].....	20
Tabla 5.	Características técnicas de electroválvula.[27][28][29] .....	21
Tabla 6.	Modbus Direccionamiento en Formato decimal.....	24
Tabla 7.	Direccionamiento Modbus .....	29
Tabla 8.	Código para asignar entradas o salidas digitales y analógicas Modbus TCP.....	30
Tabla 9.	Consumo de ancho de banda requerido por internet.....	32
Tabla 10.	Tabla comparativa de software para un enlace de red .....	38
Tabla 11.	Altura de Antenas.....	39
Tabla 12.	Resultados de la Simulación Enlace sede Junta de Agua Potable (Picaihua)-Depósito 1 .....	41
Tabla 13.	Resultados de la Simulación Enlace Depósito 1 – Depósito 2 .....	42
Tabla 14.	Resultados de la Simulación Enlace Depósito 2 – Depósito 3 .....	44
Tabla 15.	Tabla de resultados para cada enlace .....	49
Tabla 16.	Tabla comparativa de resultados matemáticos y Radio Mobile .....	50
Tabla 17.	Presupuesto del Prototipo. ....	54
Tabla 18.	Costos referentes de infraestructura de la red.....	55
Tabla 19.	Costo Referenciales de Telecomunicaciones de la red .....	55
Tabla 20.	Costo correspondiente al sistema de protección y energía eléctrica .....	56
Tabla 21.	Costo del sistema de control de los tanques .....	57
Tabla 22.	Costos de equipos matriz.....	57
Tabla 23.	Costo Total del Proyecto .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de Control [1].....	6
Figura 2. Arquitectura de una red punto a punto [17].....	8
Figura 3. Componentes de una red de sensores inalámbrica [18] .....	10
Figura 4. Diagrama de red del sistema de comunicación.....	18
Figura 5. Diagrama del sistema de comunicación inalámbrica .....	19
Figura 6. Pines de NodeMcu 8266 [23] .....	20
Figura 7. Diagrama de bloques de la comunicación Arduino – LabVIEW [16] .....	22
Figura 8. Interfaz gráfica de los Tanques de Agua. ....	25
Figura 9. Diagrama de Bloques while loop 1 .....	27
Figura 10. Diagrama de Bloques while loop 2 .....	28
Figura 11. División de Regiones para la Regulación de ondas de Radio de acuerdo a la UIT [32].....	31
Figura 12. Diseño de Red de sistema de comunicación de largo alcance.....	33
Figura 13. Antena Ubiquiti Airmax DISH Parabólica de 30 dBi a 5 GHz [16].....	36
Figura 14. Diagrama de Red Troncal.....	37
Figura 15. Escala de colores representación de nivel de señal de Potencia de Recepción en dBm .....	39
Figura 16. Descripción del Balance general de Potencias Sede principal- Reservoirio (Calicanto).....	45
Figura 17. Descripción del Balance general de Potencias Reservoirio (Calicanto) – Reservoirio (Shuyurco).....	47
Figura 18. Descripción del Balance general de Potencias Reservoirio (Shuyurco) – Reservoirio (Atarazana) .....	48
Figura 19. Edificio de la junta administradora de agua potable Picaihua.....	51
Figura 20. Reservoirios de Agua (Calicanto).....	51
Figura 21. Reservoirios de Agua (Calicanto).....	52

Figura 22. Reservorios de Agua (Atarazana) .....	52
Figura 23. Diagrama de red de direccionamiento lógico .....	53

## RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad, las plantas purificadoras de agua de la Junta Administradora de Agua Potable de la parroquia Picaihua del Cantón Ambato, se encuentran ubicadas en las afueras de sus comunidades y es complejo localizar fugas de agua por averías o deslaves. La Junta no tiene la cantidad necesaria de empleados para realizar el monitoreo del servicio de agua potable que prestan, sumado al problema de falta de cobertura de telefonía móvil o internet en dichos lugares, por lo cual, resulta necesario implementar un Sistema de Comunicación Inalámbrica para el Monitoreo y Control de Tanques.

En el proyecto investigativo propuesto, se construye un prototipo del sistema de comunicación de estaciones de tanques de reserva de agua potable que permita el monitoreo y control, para que la Junta puede solucionar los problemas que se presenten, en el menor tiempo posible y evitar que varias comunidades del sector tengan cortes de agua prolongados.

Para el trabajo investigativo, se utiliza como controlador principal la tarjeta NodeMcu ESP8266, porque proporciona una comunicación de área local o global dentro de una red con protocolos MODBUS TCP/IP. Por otra parte, el sistema se visualiza y controla datos mediante una interfaz gráfica realizada en el software LabVIEW, ubicada en sede principal en la Junta Administradora de Agua Potable de Picaihua.

Las pruebas realizadas con el prototipo verifican el envío y recepción de datos de los sensores de nivel de agua, así como el cierre y apertura de las electroválvulas.

**Palabras clave:** protocolos de comunicación, LabVIEW, Arduino ESP8266, sensores de nivel, electroválvulas.

## ABSTRACT

The water purification plants of the Junta Administradora de Agua Potable de la parroquia Picaihua del Cantón Ambato are located on the outskirts of their communities and it is difficult to locate water leaks due to breakdowns or landslides. The Board does not have the necessary number of employees to monitor the potable water service they provide, in addition to the problem of lack of cell phone or internet coverage in these places, so it is necessary to implement a Wireless Communication System for the Monitoring and Control of Tanks.

In the proposed research project, a prototype of the communication system of the potable water reserve tank stations is built to allow monitoring and control, so that the "Junta Administradora de Agua Potable" can solve the problems that arise in the shortest possible time and prevent several communities in the sector from having prolonged water outages.

For the research work, the NodeMcu ESP8266 card is used as the main controller, because it provides a local or global area communication within a network with MODBUS TCP/IP protocols. On the other hand, the system visualizes and controls data through a graphical interface made in LabVIEW software, located at the main office of the Junta Administradora de Agua Potable de Picaihua.

The tests performed with the prototype verify the sending and receiving of data from the water level sensors, as well as the closing and opening of the solenoid valves.

**Keywords:** communication protocols, LabVIEW, Arduino ESP8266, level sensors, solenoid valves.

## INTRODUCCIÓN

El propósito del presente trabajo, es el desarrollo de un prototipo de un sistema de comunicación y control de tanques de agua, para evitar los constantes cortes del suministro de agua potable, sea por fugas en la tuberías principales o deslaves en temporadas de lluvias.

La propuesta ha sido desarrollada en cuatro capítulos. El primer capítulo describe la contextualización del problema con sus respectivos antecedentes para el planteamiento de los objetivos, posteriormente se describen equipos y lenguajes de programación que permitieron desarrollar una propuesta que cumpla con los objetivos planteados.

El segundo capítulo describe la metodología que se utiliza al momento del proceso investigativo y desarrollo del prototipo. Para la implementación y ejecución, se utiliza la modalidad de investigación aplicada y de campo, donde se realizan las pruebas para el funcionamiento respectivo de cada sensor de nivel de agua y control de electroválvulas.

En el tercer capítulo, se procede realizar el desarrollo de la propuesta, y se detalla cada etapa de programación en la ESP8266 en la cual se declaran las variables de entradas, salidas y el envío de datos a una red local hacia LabVIEW con el protocolo MODBUS TCP/IP. Finalmente, en el capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

En el cuarto capítulo, se encuentran las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación, así como la bibliografía y los anexos respectivos.



# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Tema de investigación

Sistema de Comunicación y Control de las Estaciones de los Tanques de Reserva de Junta Administradora de Agua Potable de la parroquia Picaihua.

### 1.2. Antecedentes investigativos

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron fuentes bibliográficas y repositorios de diferentes universidades que existen fuera y dentro del país, además de artículos científicos relacionados al desarrollo de varios sistemas de comunicación y control.

En septiembre de 2018, en la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Camilo A. Escobar Z., Daniel A. Vaccaro A., en el artículo: “Elaboración de una interfaz de comunicación inalámbrica entre un equipo maestro y el sistema de control de PH de una piscina de producción camaronera”, su proyecto está constituido de un sistema de transmisión mediante un módulo ESP8266 en lo cual utiliza la tecnología WLAN y protocolo I2C que se conecta de forma serial con el circuito integrado Arduino para establecer el envío y la recepción de datos, el cual realiza la función de controlador del sistema, posteriormente se puede monitorear y visualizar los niveles de pH en la interfaz gráfica desarrollada mediante el software de LabVIEW, Donde mostraron todos los resultados de la transmisión y recepción del dato de pH por medio de las gráficas que registra todo cambio hecho por el software. Además, de que adicionan un circuito regulador de corriente con Op-amp en configuración no inversor regulado por medio de potenciómetro, con lo cual se obtenía los límites requeridos en el rango de 4 a 20 mA requeridos por las bombas [1].

En abril de 2019, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Johanna Gabriela Del Pozo Naranjo, en el trabajo: “Implementación de un Sistema de red inalámbrica mediante RFID para la supervisión y control de libros en tiempo real de la biblioteca Central de la ESPOCH basado en el internet de las cosas”, en el presente proyecto los

investigadores utiliza tecnologías como: identificación por radio frecuencia (RFID) y el internet de las cosas (IoT) donde la Biblioteca Central de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) el prototipo cuenta con cinco módulos: el módulo de registro para ingresar y almacenar la información de cada libro en la base de datos, el módulo de recolección de datos formado por los lectores y las tarjetas que establecen comunicación cuando el lector activa las tarjetas, el módulo de entrega entra en funcionamiento cuando son depositados los libros en el contenedor de devolución y finalmente, el módulo de consulta que permite acceder a la información de la base de datos. Como resultado este prototipo está basada en la visualización de la información contenida en la base de datos en tiempo real, mediante la aplicación móvil diseñada para dispositivos Android o desde la aplicación de escritorio, pero la implementación de un sistema RFID resulta ser costoso, los autores de dicho proyecto recomiendan la utilización en conjunto con el internet de las cosas, esto le da mayor aplicabilidad para su funcionamiento [2].

En diciembre de 2019, en la Universidad Técnica Particular de Loja, Roa Parra Edisson Fabricio, en su publicación titulada: “Análisis de seguridad de tecnologías inalámbricas de comunicación basado en radio definida mediante software”, utiliza el SDR (Software Defined Radio) tecnología que permite recibir y emitir todo tipo de señales esto para desarrollar un modelo de análisis de seguridad orientada a algunas de las tecnologías inalámbricas de comunicación como Bluetooth, Wi-Fi, GSM y RKE, para el desarrollo de este trabajo, se han establecido cuatro fases: la investigación de los métodos de ataque y defensa inalámbricos existentes, la comparación y selección de SDRs y la realización de ataques pasivos y activos hacia las tecnologías inalámbricas establecidas, que en conjunto con los SDRs apropiados, permiten la realización de los ataques seleccionados y el análisis de la repercusión causada por los mismos. Como respuesta, una vez ejecutados los ataques, se muestra las deficiencias de seguridad presentes en Bluetooth y Wi-Fi, donde es posible descubrir información importante correspondiente a los equipos y a los datos intercambiados en la conexión. Se comprueba la falta de seguridad en GSM, donde es posible monitorear el tráfico y decodificarlo. Finalmente, al ejecutar las pruebas en RKE, se muestra que los vehículos son vulnerables a ataques de repetición [3].

En febrero de 2020, en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Michelle G. Ortiz publica su trabajo de grado titulado: “Desarrollo de una Red de Sensores Inalámbricos utilizando Tecnología LoRa para el Monitoreo de un Sistema”, en lo cual utiliza tecnología IoT y LoRa para la transmisión de datos de forma inalámbrica entre los dispositivos con el fin de monitorear las variables involucradas en el proceso mediante una interfaz gráfica desarrollada por un aplicativo web. La red de sensores inalámbricos consta de tres nodos clientes que recolectan información de la planta a través de sensores. Esto permitirá que haya comunicación directa mediante LoRa con el Gateway para transmitir los datos de la planta. El Gateway retrasmite la información que recibe de los nodos clientes a un Servidor en Internet denominado “The Things Network” la cual ha conformado una sociedad abierta de Gateways y nodos que admite conectividad de diferentes dispositivos IoT a nivel mundial de forma gratuita. En lo cual el proyecto servirá para futuras investigaciones o aplicaciones referentes a las redes de sensores inteligentes que utilicen tecnología LoRa [4].

En marzo de 2021, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Navarrete Armijos José Ignacio, en el trabajo de titulación denominado “Implementación de una red de sensores inalámbricos mediante sistema embebido Raspberry Pi” se utiliza tecnologías como Rhaspny, LoRa, protocolo I2C y SSH donde básicamente se trata de una implementación de sensores inalámbricos mediante un sistema embebido Raspberry Pi, y que se trabaja conjunto con cuatro nodos, la Raspberry Pi tiene un código en Python que se ejecuta y por medio del puerto serial mencionado envía esos datos a una aplicación en la nube llamada Ubidots, en lo cual la Raspberry Pi tiene instalado el sistema operativo Raspbian que está en una microSD, para acceder a la Raspberry Pi lo hace por MobaXterm y por SSH inalámbrica con una red local conectada a internet, y transmitir a Ubidots. Como resultado el primer nodo tiene conectado el sensor de temperatura y humedad con conexión I2C que utiliza dos pines y conecta múltiples sensores y actuadores, con el módulo Esp32 Lora y por medio de I2C realiza la lectura de temperatura y humedad enviándolo por radiofrecuencia al nodo posterior que es el 2. El nodo dos recibe los datos del primer nodo y lee los resultados de temperatura y humedad de su propio sensor, y esas informaciones van hacia el nodo tres, el nodo tres envía los datos anteriores al nodo principal que es el

coordinador y este envía por puerto serial a la Raspberry Pi la información de los nodos [5].

### **1.2.1. Contextualización del problema**

El consumo mundial de agua está en aumento a una tasa anual de alrededor del 1% desde la década de 1980, este crecimiento constante es principalmente por las crecientes necesidades de los países en desarrollo y economías emergentes, esto está impulsado por una combinación de aumento población, desarrollo socioeconómico y cambios en los patrones de consumo, donde la agricultura (incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura), es el mayor consumidor de agua porque representa el 69% de la extracción anual de agua a nivel global, a lo cual la industria (incluida la generación de energía) representó el 19%, y las familias con un 12%, se espera que la demanda mundial de agua continúe creciendo a un ritmo similar hasta el año 2050, aunque se espera un aumento entre un 20% al 30%, dichas proyecciones podrían variar, este crecimiento se atribuirá a un aumento a la demanda entre sectores industrial y doméstico [6].

Para determinar la demanda de agua potable, se considera las dotaciones recomendadas por la norma vigente en Ecuador, esto en base a la población futura y climatología de la zona, donde se adoptó una dotación de 2658 litros/hab\*día, para una población mayor a 590,600 habitantes con un clima templado en la provincia de Tungurahua, según resultados del INEC desde 2010 hasta el 2021 ha existido un crecimiento de la población, donde se busca mejores maneras de purificación de agua y nuevas fuentes de agua, para la parroquia de Picaihua del cantón Ambato ha existido un crecimiento de la población donde en 2019 existieron alrededor de 10,000 personas, lo cual la junta administradora de agua potable de Picaihua ha optado por la construcción de un nuevo reservorio de agua con una nueva fuente que está ubicado en el sector de Guasinga Chico ubicado en la misma parroquia, en lo cual se podrá abastecer a 5,000 personas más de la población, según datos recomendados por la IWA para que califique el rendimiento del abastecimiento de agua como “bueno” existirá un cálculo de caudal de fugas en un 20% de esta, con un rendimiento de 80% [7]. [8].

Debido a los deslaves y muchas veces a las constantes lluvias que las provocan, en dicho sector ha existido varios derrumbes donde ha causado daño de tuberías principales que van desde las fuentes de agua hacia los tanques reservorios y de estos hacia las comunidades donde al solo contar con sensores de nivel de agua con sus respectivos indicadores ubicados en sus tres localidades distintas se ha optado varias rondas al día por parte de sus trabajadores pero al estar muy apartados de su sede principal, no pueden darse cuenta de una manera rápida el daño, causa no solo así un desperdicio de agua para la junta administradora de agua, sino tarda un mayor tiempo hasta encontrar la fuga y repararla, causado cortes de agua en varios de sus sectores.

Para un mejor servicio hacia la comunidad y solucionar de mejor manera las fugas de agua, se ha optado por implementar un sistema de comunicación y control de las estaciones de tanques de reserva de agua potable, donde se podrá observar desde una interfaz gráfica sus niveles de agua en cada uno de sus tanques, su manipulación en sus válvulas ya sea cerrarlas o abrirlas en caso de emergencia por fuga o derrumbes en sus tuberías, evita así un gran desperdicio de agua y su breve reparación.

### **1.2.2. Fundamentación Teórica**

#### **Tanque reservorio de agua**

Las instalaciones de almacenamiento, conocidas como tanques, torres, cisternas o reservorios, por un lado, brindan almacenamiento para el agua tratada antes de su distribución para fines domésticos y de consumo, y por otro, equilibran las fluctuaciones en la cantidad y calidad del agua. Esto se hace al almacenar agua durante los momentos en que hay poca demanda, por ejemplo, por la noche, y asegurándose de que haya suficiente agua para los momentos de mayor demanda, es decir, cuando muchas personas necesitan agua al mismo tiempo [9].

#### **Sensor de nivel de agua**

El sensor detecta el nivel del líquido en tanques y depósitos en el punto donde esté instalado, que se indica mediante una señal ON/OFF cuando se ha alcanzado el nivel de llenado, vaciado u otro definido en un proyecto. Debido a estar fijados en un punto del depósito, los sensores de nivel no son influenciados por las ondulaciones y

vibraciones, asegura una mejor fiabilidad y repetibilidad en comparación con otros tipos de detectores de nivel, tales como las antiguas boyas de nivel [10].

### **Electroválvula**

Son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula, controla de esta forma, el flujo de fluidos. Al circular corriente por el solenoide, se genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte, las electroválvulas son más fáciles de controlar mediante programas de software, es ideal para la automatización industrial [11].

### **Sistemas de Control**

Un sistema de control es una configuración formada por la interconexión de elementos que se denomina sistema y se tiene un arreglo resultante que puede controlarse por sí mismo. Un componente del sistema o sistema  $g(t)$  se representa mediante bloques y es susceptible de ser controlado, se aplica una señal de entrada  $r(t)$  y se obtiene una salida o respuesta  $y(t)$ . [12] Ver figura 1.

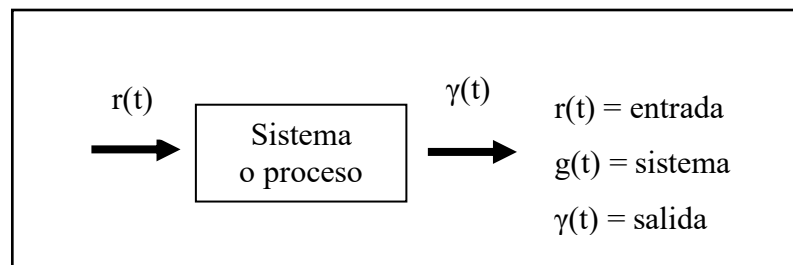


Figura 1. Sistema de Control [1].

### **Antena**

La antena es una parte esencial de un sistema de radiocomunicaciones, ase acoplado la energía de la salida de un transmisor hacia el espacio libre o del espacio libre hacia un receptor, razón por la cual se conoce como dispositivo recíproco, puesto que mantiene sus características tanto en transmisión como en recepción. La antena es un dispositivo que transforma las señales eléctricas (voltaje y corriente de una línea de

transmisión) en ondas electromagnéticas (campos eléctricos y magnéticos), o viceversa [13],[14].

Parámetros de una antena:

- Patrón de radiación
- Intensidad de radiación
- Directividad
- Eficiencia
- Ganancia
- Ancho de banda
- Polarización
- Impedancia de entrada

### **Redes de datos**

Una red de datos es un sistema que enlaza dos o más puntos por un medio físico el cual sirve para enviar o recibir un determinado flujo de información [15].

1. Transmisor: Encargado de generar y adecuar la información a ser transmitida adaptándola al medio de transmisión requerido.
2. Medio de transmisión: es el medio a través del cual viaja la información desde el transmisor hacia el o los receptores.
3. Receptor: Encargado de recibir y adecuar la información a ser utilizada, adaptándola nuevamente a la aplicación o utilidad requerida.

### **Redes Inalámbricas**

Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio para conectar los dispositivos, sin la necesidad de utilizar cables de ningún tipo. Las redes inalámbricas incluyen ordenadores portátiles, ordenadores de escritorio, netbooks, asistentes digitales personales (PDA), teléfonos móviles, tablets y dispositivos localizadores. Las redes inalámbricas funcionan de manera similar a las redes cableadas, la red inalámbrica convierte las señales de información en una forma adecuada para la transmisión a través del medio de aire [16].

## Señal Inalámbrica

Una señal inalámbrica posee tres factores importantes los cuales son: rapidez es decir la tasa de datos que puede conseguir; alcance que se refiere la distancia que se puede colocar las unidades, manteniendo la tasa de datos máxima; y la cantidad, cuantos usuarios pueden existir [15].

## Enlace punto a punto

Los enlaces punto a punto permiten interconectar dos o más redes remotas como si fueran una misma, mediante un canal de comunicación inalámbrico. Dichos enlaces son viables desde 20 metros hasta una distancia aproximada de 50 Km [17].

Usos de los enlaces Punto a Punto

- Transmisión de datos de red, internet, video y telefonía IP para una empresa, sucursal, casa de campo, rancho o facilidad ubicada en áreas remotas donde los servicios de Internet no llegan.
- Interconexión de las redes de dos ubicaciones o extensión de la red de una ubicación a otra, permitiendo intercambio de archivos, impresión en red, internet compartido, servicios de red, aplicaciones, intranet, etc. Ver figura 2.

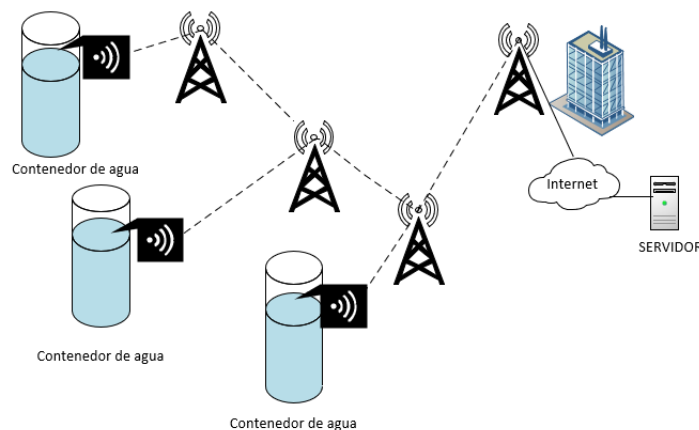


Figura 2. Arquitectura de una red punto a punto [17]

## Tipos de redes inalámbricas

### WBAN y WPAN

Redes inalámbricas de área corporal o WBAN (Wireless Body Area Network) cubren distancias de 1 ó 2 metros, las redes inalámbricas de área personal o WPAN (Wireless



Personal Area Network) cubren distancias inferiores a los 10 metros. Estas soluciones están pensadas para interconectar los distintos dispositivos de un usuario (por ejemplo, el ordenador con la impresora). Éste es el caso de la tecnología Bluetooth o de IEEE 802.15 [16].

### **WLAN**

Redes inalámbricas de área local o WLAN (Wireless Local Area Network) cubren distancias de unos cientos de metros. Estas redes están pensadas para crear un entorno de red local entre ordenadores o terminales situados en un mismo edificio o grupos de edificios. Éste es el caso de Wi-Fi o HomeRF, por ejemplo [16].

### **WMAN**

Redes inalámbricas de área metropolitana o WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) pretenden cubrir el área de una ciudad o entorno metropolitano. Los protocolos LMDS (Local Multipoint Distribution Service) o MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) ofrecen soluciones de este tipo [16].

### **WWAN**

Redes inalámbricas de área extensa o WWAN (Wireless Wide Area Network), también conocidas como de área global o WGAN, pueden cubrir toda una región (país o grupo de países). Estas redes se basan en tecnología celular y han aparecido como evolución de las redes de comunicaciones de voz. Éste es el caso de las redes de telefonía móvil conocidas como 2,5G o 3G. En comunicaciones móviles de voz se les llama 1G (primera generación) a los sistemas analógicos (tipo NMT o AMPS), 2G a los digitales (tipo GSM o CDMA), 2,5G a los digitales con soporte para datos a alta velocidad (tipo GPRS, IS-95B o EDGE) y 3G o tercera generación a los nuevos sistemas de telefonía celular con capacidad de gran ancho de banda. Este último es el caso de UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) o CDMA-2000 (Code Division Multiple Access) [16].

### **Elementos de una red inalámbrica de sensores**

Un sistema de comunicación inalámbrica está constituido por nodos que une a varios dispositivos, las tarjetas de red inalámbrica y sus sensores respectivamente como se muestra en la figura 3.

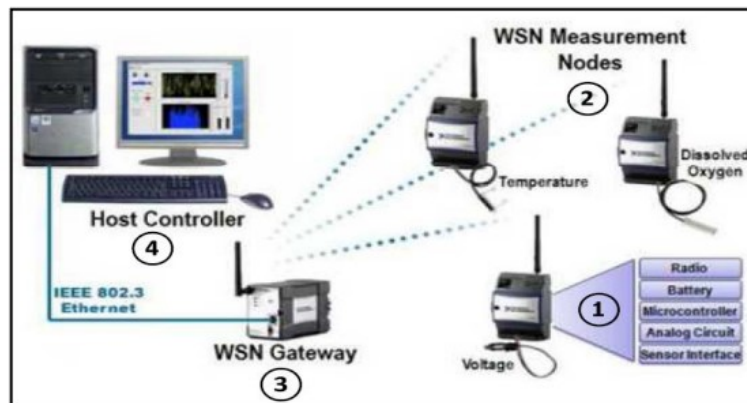


Figura 3. Componentes de una red de sensores inalámbrica [18]

Los elementos de una red inalámbrica de sensores son: [18]

- Sensor
- Nodos (motas) constituyen la unión de varios dispositivos que se encuentran en un lugar específico. Estos recolectan datos del medio con la ayuda de sensores y envían la información hacia la estación base.
- El Gateway permite la interconexión entre una red de datos y una red de sensores.
- La estación base proporciona la comunicación de los nodos (motas) con el usuario final.

### IEEE 802.11

El IEEE 802.11 es una familia de estándares para redes locales inalámbricas desarrollada por el IEEE, que fue definida en 1997 (en el año 1999 se definieron los estándares 802.11a y 802.11b). El estándar garantiza la interoperabilidad entre diferentes fabricantes. Es decir, por ejemplo, que una tarjeta WLAN para PC de un fabricante funcione con un punto de acceso de otro fabricante. El estándar 802.11 describe la funcionalidad de las capas y subcapas y las relaciones entre ellas, pero no especifica cómo se tienen que hacer; solo indica cómo se compartirá el equipo y deja vía libre al fabricante en la manera de implementarlo. El objetivo principal del estándar 802.11 es garantizar la funcionalidad de las aplicaciones sin tener que considerar si la comunicación es o no inalámbrica [15].

### Rango de flujo de datos

Los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g, llamados "estándares físicos", son modificaciones del estándar 802.11 y operan de modos diferentes, lo que les permite alcanzar distintas velocidades en la transferencia de datos según sus rangos [15].

Tabla 1. Estándares Físicos [15][19],

<b>Estándar</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Rango</b>
Wi-Fi a (802.11a)	5 GHz.	54 Mbit/s	10 m
Wi-Fi b (802.11b)	2,4 GHz.	11 Mbit/s	100 m
Wi-Fi g (802.11g)	2,4 GHz	54 Mbit/s	100 m
Wi-Fi 5 (802.11n/ac)	5 GHz	433–6933 Mbit/s	15 metros en interiores y 30 metros en exteriores
Wi-Fi 6 (802.11 ax)	2,4 GHz – 5 GHz	600–9608 Mbit/s	Para 2,4 GHz de 45 metros en interiores y 90 metros en exteriores Para 5 GHz de 15 metros en interiores y 30 metros en exteriores

Elaborado por: El investigador

### Tecnologías inalámbricas

Las tecnologías inalámbricas permiten una comunicación entre el emisor y el receptor sin el uso de cables, los elementos físicos para la transmisión y recepción de mensajes se encuentran solamente en el lugar desde donde se envía y recibe la información [18].

Tabla 2. Comparación tecnologías inalámbricas [18].

<b>Tecnología</b>	<b>Wi-Fi 82.11 ax</b>	<b>Bluetooth 802.15.1</b>	<b>ZigBee 802.15.4</b>
Aplicación principal	WLAN	WPAN	WPAN, control y monitorización
Memoria necesaria	4 Gb	250 KB	4-32 KB
Vida batería (días)	Incremento de la duración de la batería. Informar para conservar la energía	1-7	100-1000
Tamaño red	30 subseñales Wi-fi	7	255-65000
Velocidad transferencia de datos	10 Gbps	720 kbps	20-250 Kbps
Cobertura (metros)	22	10	1-100
Redes	Punto a punto, punto-multipunto	Punto a punto, punto-multipunto	Punto a punto, punto-multipunto y malla
Parámetros importantes	Velocidad, flexibilidad	Coste y perfiles de aplicación	Fiabilidad, bajo consumo y bajo costo

Elaborado por: El investigador

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Implementar un prototipo de un sistema de comunicación para los tanques reservorios de agua de la Parroquia Picaihua para el monitoreo y control en la Junta Administradora de Agua Potable.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar los requerimientos técnicos para el sistema de comunicación entre las estaciones de tanques de reserva de agua y la sede principal de Junta Administradora de Agua Potable de la Parroquia Picaihua.
- Evaluar los tipos de sensores y actuadores que actúan dentro del sistema de bombeo y purificación de tanques reservorios de agua potable.
- Seleccionar los materiales y equipos electrónicos para el prototipo del sistema de comunicación y control de estaciones de tanques de reserva de agua.
- Diseñar el prototipo de un sistema de comunicación para el monitoreo y control entre los diferentes tanques de reserva de agua y su sede principal ubicado en la parroquia Picaihua y realizar pruebas de funcionamiento.

## **CAPÍTULO II METODOLOGÍA**

### **2.1. Materiales**

Para el desarrollo del presente proyecto se basó en el uso de diversas fuentes de información como: tesis, artículos científicos, libros, sitios web, componentes electrónicos entre otras relacionado al tema de sistemas comunicación inalámbrica para la recepción y transmisión de datos mediante protocolos TCP/IP, así como lenguaje de programación utilizado para ESP8266 y LabVIEW

### **2.2. Métodos**

#### **2.2.1. Modalidad de Investigación**

Para la implementación y ejecución, se utilizó la modalidad de investigación aplicada, se emplearon los conocimientos adquiridos durante toda la carrera de ingeniería en electrónica y comunicaciones para la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica.

En cuanto a la recolección de información se utilizó un estudio bibliográfico, la información que más aportó al desarrollo del prototipo se encuentra en artículos científicos, tesis y sitios web que hablan acerca de los sistemas de comunicación inalámbrica.

El desarrollo de este proyecto fue de carácter experimental, se verificó el correcto funcionamiento del prototipo al momento de enviar y recibir datos, esto comprobado mediante una interfaz gráfica.

Por último, en la investigación de campo ha sido de gran utilidad, el prototipo se basa en datos reales, obtenidos en tiempo real los cuales son proporcionados por sensores de nivel de agua, la capacidad de respuesta para la apertura o cierre de la electroválvula y petición que se la hace mediante la interfaz gráfica todo esto permite validar el funcionamiento del sistema.

### **2.2.2. Recolección de Información**

Para la recolección de información y datos se dispone de medios físicos y electrónicos como internet, libros, artículos científicos, proyectos de titulación basados en los sistemas de comunicación y control inalámbricos.

### **2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos**

Para el procesamiento de información y el análisis de datos obtenidos se utilizó los siguientes pasos:

- Revisión de la información recopilada
- Lectura comprensiva e interpretación de la información recopilada.
- Elaboración de propuesta para justificar los objetivos.
- Verificación de resultados en base a los objetivos planteados.

### **2.2.4. Desarrollo del proyecto**

Los aspectos que guían el desarrollo del prototipo se especifican en los siguientes procesos descritos a continuación:

1. Recopilación de información para el desarrollo del prototipo para un sistema de comunicación y control de estaciones de tanques de agua.
2. Identificación de parámetros, estándares y frecuencias que conforman un sistema de comunicación inalámbrica para su comunicación de un punto a otro.
3. Análisis de los tipos de sensores y actuadores que se utilizan dentro de un sistema de bombeo y purificación de agua.
4. Análisis de hardware y software a utilizar para la interfaz gráfica, microcontrolador, lenguaje de programación y tipo de comunicación inalámbrica.
5. Determinación de equipos a utilizarse en el prototipo del proyecto de investigación.
6. Comparación de características, análisis de disponibilidad y precios de los equipos a utilizarse.
7. Diseño del sistema de comunicación inalámbrico para los tanques de agua hacia su sede principal.

8. Diseño del circuito de control a implementarse para el prototipo del sistema de comunicación para los cierres y aberturas de las válvulas de agua.
9. Elaboración de la interfaz gráfica para el control y monitoreo de los tanques de reserva de agua potable.
10. Elaboración del circuito a implementarse
11. Pruebas de funcionamiento del prototipo
12. Corrección de errores
13. Elaboración del informe final



## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Análisis y discusión de resultados**

Con la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica se pudo facilitar el monitoreo y control de niveles de agua en un tanque o contenedor, así como la apertura y cierre de válvulas, visualizadas en una interfaz gráfica dentro del área local de red.

#### **3.2. Análisis de Factibilidad**

El proyecto cuenta con factibilidad técnica, se tiene las habilidades, conocimientos de los materiales como sensores, mini electroválvulas, software y demás elementos fáciles de encontrar dentro del país que fueron utilizados al momento de realizar el proyecto.

Posee factibilidad bibliográfica, porque existe información de libre acceso como: artículos científicos, tesis, libros repositorios, etc.

Al ser un prototipo, los gastos al momento de desarrollar el proyecto fueron a cargo del investigador, por lo que fue económicamente factible.

#### **3.3. Diseño del sistema de comunicación e implementación del prototipo**

En este apartado, se describen los métodos necesarios para llevar a cabo la implementación del sistema de comunicación y control, además del prototipo.

##### **3.3.1. Sistema de Comunicación.**

El sistema de comunicación es un enlace punto a punto, al verificar que existe líneas de vista, las antenas serán colocadas sobre las construcciones con tubo poste galvanizado de 6 metros. En la figura 4, se muestra el diagrama de red del sistema de comunicación.

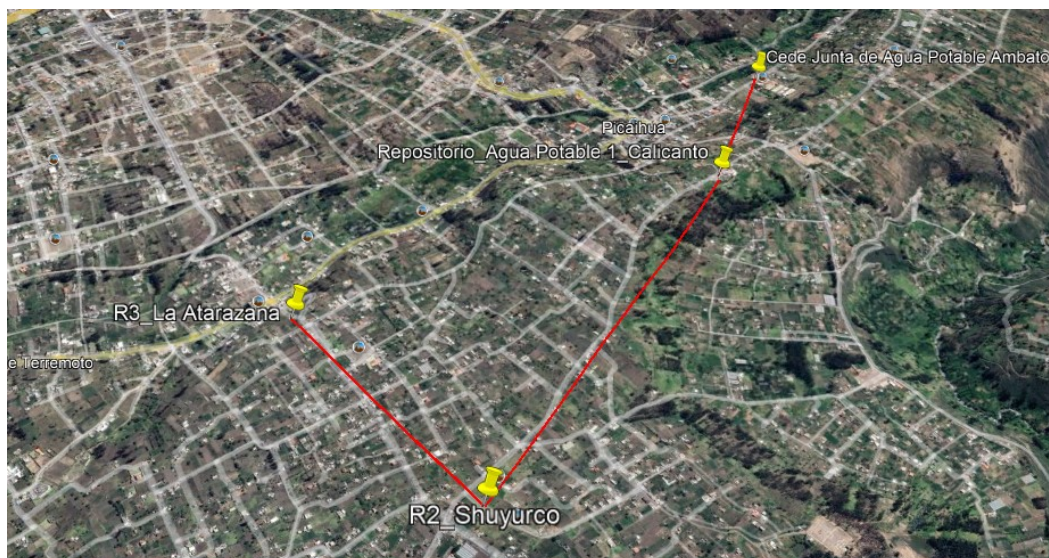


Figura 4. Diagrama de red del sistema de comunicación.  
Elaborado por: El investigador

### 3.3.2. Sistema de Control

Dentro de este sistema se van a controlar el cierre y aperturas de las electroválvulas, el monitoreo de los niveles de agua de los tanques de la Junta Administradora de Agua Potable de Picaihua y el estado de las válvulas para el llenado y vaciado de las mismas.

Diseñar el sistema de comunicación para el control y monitoreo de los tanques de agua en la sede principal de la junta administradora, donde cada estación necesita un microcontrolador donde se utiliza seis salidas y dos entradas.

#### Sensores y Actuadores

Los sensores que están en funcionamiento en los tanques reservorios son de nivel de agua en acero inoxidable, Modelo M5600 y actuadores de válvula de mariposa doble efecto ANSI 150, ver anexo 1 y 2, a lo cual se encuentran operativos y en buenas condiciones por lo que se recomienda realizar mantenimiento preventivo cada 3 meses.

### 3.3.3. Diagrama del sistema de comunicación del prototipo

Para el desarrollo del proyecto se diseñó e implementó un sistema de comunicación, donde los datos recibidos (nivel de agua) como entradas van a llegar hasta la tarjeta del módulo wifi del microcontrolador, que se encarga de enviar los datos a una red de área local y recibirlas hacia el servidor donde se podrá visualizar desde una interfaz gráfica, a su vez desde allí se podrá manipular la apertura o cierre de las

electroválvulas. En la figura 5, se muestra el diagrama del sistema de comunicación inalámbrica propuesto para el prototipo.

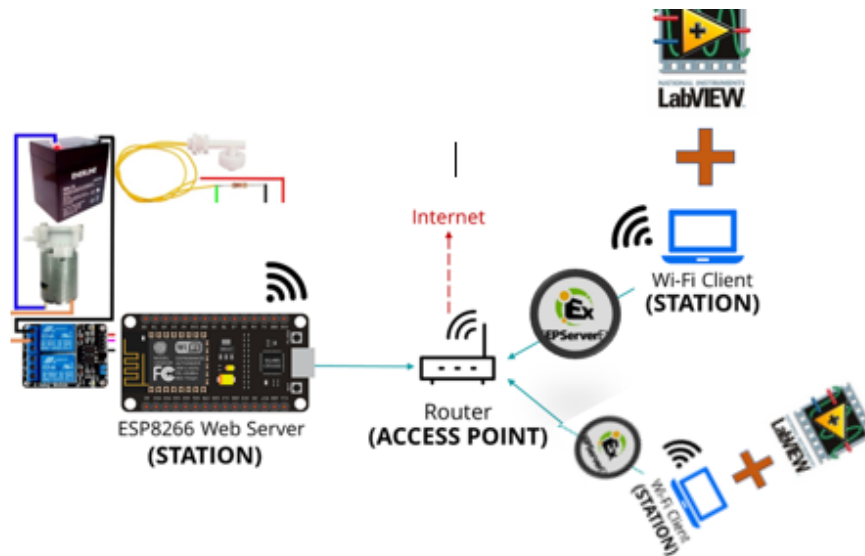


Figura 5. Diagrama del sistema de comunicación inalámbrica  
Elaborado por: El investigador

### 3.3.3.1. Selección de los elementos para la implementación del prototipo

#### Microcontroladores

Para realizar el prototipo se necesita de un microcontrolador capaz de enlazarse a la red, existen múltiples módulos que facilita una comunicación de área local, por lo que se selecciona el dispositivo de acuerdo a las características mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Tabla de comparación de microcontrolador [20] [21][22].

	NodeMcu	Raspberry Pi 4	Shield Ethernet
<b>Voltaje de alimentación</b>	3.3 V – 5 V	5V – 3A	5 voltios 36 a 57 VDC (PoE)
<b>Procesador</b>	ESP8266	Cortex-A72	ATmega328
<b>Velocidad CPU</b>	80 MHz	1.5 GHz	16 MHz
<b>Entradas Analógicas</b>	1	3	6
<b>Entradas digitales</b>	17	26	14
<b>USB</b>	Mini USB	2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0	No
<b>UART</b>	1	4	1
<b>SRAM</b>	64kB	264 KB	2KB
<b>EEPROM</b>	4MB	1/2/4GB LPDDR4	1 KB
<b>Precio</b>	\$30	\$59	\$65

Considerando la tabla 3, se optó por usar la NodeMcu considerando que tiene un lenguaje de programación sencillo y se puede encontrar fácilmente en el mercado, además de contar con un puerto mini USB para cargar los programas, una frecuencia de reloj de 80 MHz para el procesamiento de los datos y sus múltiples pines de entradas y salidas como se puede observar en la figura 6.

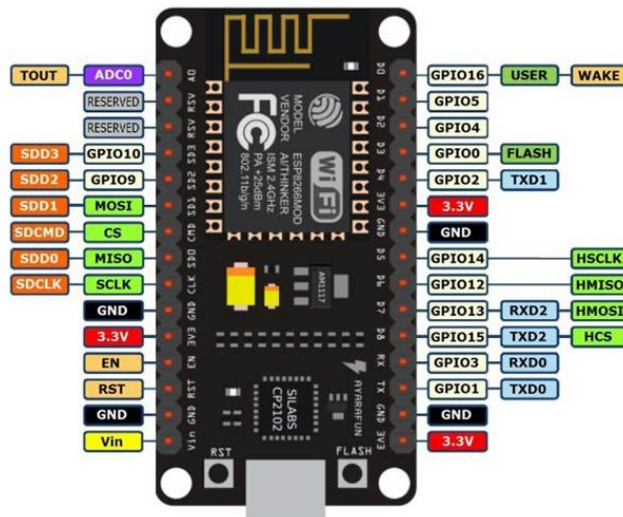


Figura 6. Pines de NodeMcu 8266 [23].

### Sensores

Al momento de elegir el sensor de nivel de agua para el prototipo, en la siguiente tabla se observan las características técnicas.

Tabla 4. Características técnicas de sensores [24][25][26].

	Sensor de humedad (RHS)	Ultrasonido HC-SR04	Sensor de nivel flotador horizontal boya
<b>Voltaje de alimentación</b>	3 – 5 VCD	5 VCD – 2mA	5 VCD
<b>Datos de lectura</b>	Ratio de datos	Ángulo de detección de no más de 15°	Interruptor flotante
<b>Rango de datos</b>	208 bits/s, 1.4 Mbits/s	Distancia de detección de 2 cm hasta 450 cm	Normalmente cerrado
<b>Rango de temperatura</b>	150 – 400 °K	50 °C o 125 °F	-10 a +85 °C

Para el sensor de nivel de agua existe muchos, entre algunos de ellos son: sensor de humedad, ultrasónico y el sensor de nivel flotador horizontal, cada uno de ellos trabaja

de diferente manera, el de humedad trabaja con señales análogas al microcontrolador, el ultrasónico envía señales de ruido y las recibe hasta una distancia máximo de 40 cm y el sensor flotador trabaja como un interruptor de abierto o cerrado. Seleccionando este último considerando las condiciones físicas a darse en los tanques de agua.

### Actuadores

Por último, se utiliza una mini electroválvula para simular el cierre o apertura de las válvulas de tanques, en la siguiente tabla se observan los parámetros técnicos.

Tabla 5. Características técnicas de electroválvula [27][28][29].

	<b>Electroválvula 2W-250-25</b>	<b>Electroválvula Solenoides Bronce 2W-200-20</b>	<b>Mini Electroválvula para Arduino</b>
<b>Fuente de alimentación</b>	110VAC	110/120 VAC	12VCD
<b>Diámetro de entrada y salida</b>	1 pulgada	3/4 pulgada	1/2 pulgada
<b>Temperatura máxima de trabajo</b>	5 - 80 °C	5 – 80 °C	5 - 90 °C
<b>Aplicación</b>	0-10 bar para agua, aire, 0-7 bar para aceite y gas	Control de flujo agua, aceite, aire	Control de flujo de agua/aire

Según lo analizado en la tabla se ha optado por usar la mini electroválvula compatible para Arduino y por la fuente de alimentación de 12 VCD.

### Diagrama de bloques de comunicación

Todos los componentes, además del software a utilizar fueron necesarios para el sistema de comunicación inalámbrica y se eligieron de acuerdo con el diagrama presentado en la figura 7, que se detalla a continuación:

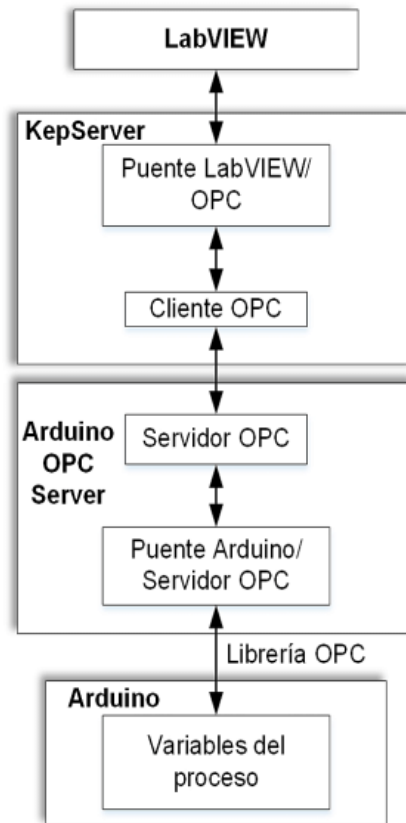


Figura 7. Diagrama de bloques de la comunicación Arduino – LabVIEW [16].

### **Módulo Wifi NodeMcu ESP8266 CP2102**

Con este microcontrolador se puede enviar datos a través de un área local de una misma red, esto permite enviar y recibir los datos de forma inalámbrica. Anexo 3.

### **Características técnicas:**

#### Hardware

- Utiliza una CPU Tensílica L106 32-bit
- Voltaje de operación entre 3V y 3,6V
- Corriente de operación 80 mA
- Temperatura de operación -40°C y 125°C

#### Conectividad

- Soporta IPv4 y los protocolos TCP/UDP/HTTP/FTP
- No soporta HTTPS.

### **Sensor de nivel flotador horizontal Arduino**

Se conoce con el sensor si el agua ha pasado cierto nivel como bajo o alto, sin preocuparte por los cortocircuitos, posee aislamiento eléctrico a prueba de agua. Es conocido como interruptor flotador, fácil integración con sistemas digitales como: Arduino, PIC o PLCs. Se comporta como un switch o interruptor, que se conecta a una entrada digital con su respectiva resistencia pull-up o pull-down, ver Anexo 3 [30].

#### **Características técnicas:**

- Voltaje máximo: 100V DC/AC
- Corriente Máx: 0.5A
- Carga Máx: 10W
- Cable de 30 cm
- Sensor o interruptor flotador

### **Mini electroválvula para Arduino**

La electroválvula permite vaciar o llenar el tanque de agua dependiendo la función que vaya a aplicarse, esta es normalmente cerrada, si se pone agua presurizada, el agua es bloqueada. Entonces, si se conecta el voltaje de alimentación a la bobina, la válvula se abrirá y el agua podrá circular, ver Anexo 3 [31].

### **Batería 12VDC**

Esta batería sirve para alimentar la electroválvula, esta funciona a 12 VDC y máximo 4 amperios, ver Anexo 3.

#### **Características técnicas**

- Batería recargable 12vdc / 4 Amperios hora
- Dimensiones: 9 (L) x 7 (W) x 10.7 (H) cm
- Peso: 1.44Kg

### **Módulo de relé**

Sirve como un interruptor mecánico operado eléctricamente que se puede encender o apagar, deja pasar la corriente o no, se puede controlar con voltajes bajos utilizados en la alimentación de un Arduino, ver Anexo 3.

### 3.3.3.2. Software para la comunicación del protocolo Modbus TCP/IP

#### KEPServerEx

Es el servidor de datos de Kepware basado en la tecnología OPC capaz de conectar diferentes dispositivos y aplicaciones, desde sistemas de control hasta sistemas de gestión. Su plataforma de servidor gestiona datos críticos de automatización, instalaciones e infraestructura que permiten realizar la conexión con la ESP8266, para el envío o recepción de datos.

Inicialmente, asignar una dirección IP al crear un proyecto, allí se le coloca la misma dirección configurada en el microcontrolador ESP8266 y luego se crea la etiqueta correspondiente, asignándoles las direcciones respectivas de acuerdo al protocolo Modbus TCP/IP para lo cual se puede visualizar en la tabla 6. (Ver Anexo 4).

Tabla 6. Modbus Direccionamiento en Formato decimal

Tipo de dirección	Rango	Tipo de datos	Acceso*	Códigos de función
Output Coils	000001-065536	Boolean	Lectura/Escritura	01, 05, 15
Input Coils	100001-165536	Boolean	Solo lectura	02
Internal Registers	300001-365536	<b>Word</b> , Short,	Solo lectura	04
	300001-365535	BCD	Solo lectura	04
	300001-365533	Float, DWord, Long, LBCD	Solo lectura	04
	xxxxx=1-65536 bb=0/1-15/16**	Double	Solo lectura	04
	300001.2H- 365536.240H***	<b>Boolean</b>	Solo lectura	04
300001.2L- 365536.240L***	String	Solo lectura	04	
Holding Registers	400001-465536	<b>Word</b> , Short,	Lectura/Escritura	03, 06, 16
	400001-465535	BCD	Lectura/Escritura	03, 06, 16
	400001-465533	Float, DWord, Long, LBCD	Lectura/Escritura	03, 06, 16
	xxxxx=1-65536 bb=0/1-15/16*	Double	Lectura/Escritura	03, 06, 16, 22
	400001.2H- 465536.240H***	<b>Boolean</b>	Lectura/Escritura	03, 16
400001.2L- 465536.240L***	String	Lectura/Escritura	03, 16	
		String	Lectura/Escritura	03, 16

Elaborado por: El investigador



### 3.3.3.3. Creación de la interfaz gráfica y programación

#### LabVIEW

LabVIEW permite realizar un enlace entre KEPServerEx, crear su propia interfaz gráfica, es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico pensado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido.

#### Interfaz gráfica

Para el entorno de interfaz gráfica, se crea un diseño de tres tanques con sus respectivas Electroválvulas como se puede observar en la figura 8.

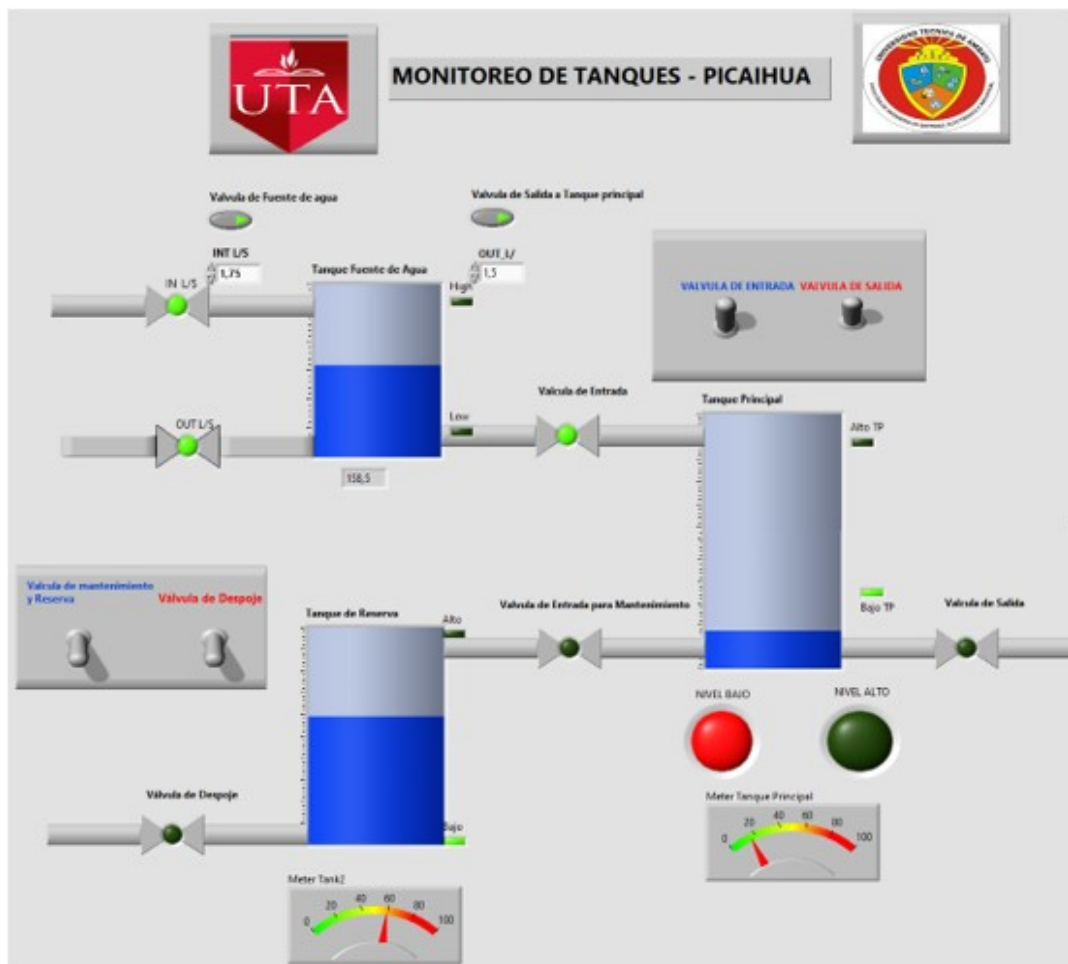


Figura 8. Interfaz gráfica de los Tanques de Agua.  
Elaborado por: El Investigador

El Tanque de Fuente almacena el agua directo de la vertiente, por eso incluye tres válvulas, la primera Válvula IN I/S extrae agua, la segunda Válvula de Entrada está

conectada al Tanque Principal donde y la tercera Válvula OUT L/S extrae el agua cuando sea necesario.

En el Tanque Principal, se purifica el agua e incluye tres válvulas. La primera, una Válvula de Entrada a través de la cual ingresa el agua proveniente del Tanque de Fuente de Agua, la segunda es la Válvula de Salida para la distribución del agua a los usuarios, la tercera es la Válvula de Entrada de Mantenimiento que está conectada al Tanque de reserva y será abierta solo en casos especiales. Este tanque está programado para llenarse automáticamente.

Al Tanque de Reserva se le agregaron dos válvulas, la primera válvula es la de Entrada de Mantenimiento y solo se le abrirá cuando exista un exceso de agua en los otros tanques o cuando se programen mantenimientos.

Cada uno de los tanques tienen indicadores y sensores que visualizan el nivel bajo y alto de agua, además de pulsadores para abrir o cerrar las válvulas de los tanques.

## **Lenguaje de programación para envío y recepción de datos a través de LabVIEW**

### **Datos a recibir**

Los datos que se va a recibir a través del enlace punto a punto, son la de los sensores de agua que indica si el tanque está en nivel bajo o alto, también visualizar si las válvulas de agua están abiertas o cerradas, al contar los reservorios con una programación ya hecha anteriormente para el llenado y vaciado, se procede a usar los mismos pines de datos para enviarlos a través de la red con la NodeMcu, enlazado con el software a través de KepServer, Ver Anexo 5.

En los pines de entradas digitales de la NodeMcu se recibe datos booleanos, es decir unos o ceros donde serán leídos, enviados y visualizados desde la interfaz gráfica en LabVIEW

### **Datos a enviar**

Para el envío de datos se toma únicamente valores booleanos (nivel alto o bajo) para que, la NodeMcu los reciba, procese y pueda enviar los datos para la apertura o cierre de las válvulas que están conectados a los contactores, cabe recalcar que el sistema de

llenado y vaciado ya se encuentra instalado, lo cual ya no es necesario diseñar un sistema automático en el tanque de reserva y solo se toma únicamente los datos booleanos antes de que llegue a las válvulas. Ver Anexo 5.

### Descripción del diagrama de bloques figura 9:

A continuación, se crea dos *while loop*, para el llenado y vaciado de los tanques respectivamente.

Para el primer *while loop*, se procede primero a realizar el llenado y vaciado del Tanque de Fuente de Agua, se coloca variables en litros por segundos, esta variable es la que más se asemeja a lo real, debido a que proviene de la vertiente y dependiendo a la lluvia su caudal aumenta o baja. Para las condiciones de llenado se utiliza condiciones de verdadero o falso almacenado sus valores mediante un *Add Shift Register* que permite que el ciclo se repita y se almacene.

Para el Tanque Principal, se programó con un *case structure*, permite tener condiciones de verdadero y falso, para el caso verdadero si el pulsador es presionado se procederá a abrir la válvula de entrada y llenar el tanque, solo se detendrá cuando este llegue a un valor máximo asignado.

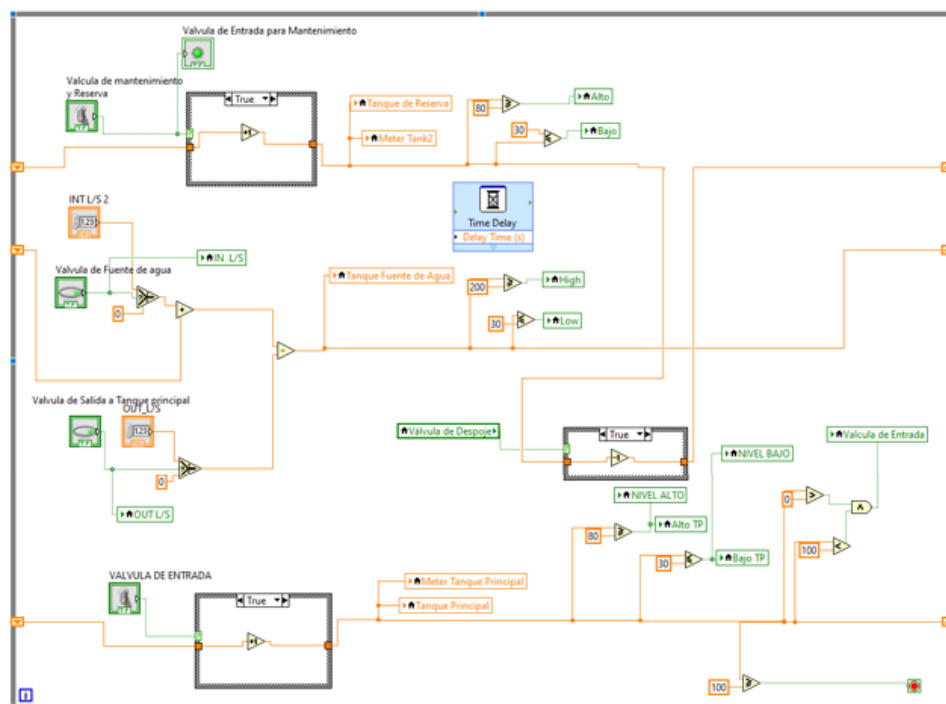


Figura 9. Diagrama de Bloques *while loop 1*  
Elaborado por: El investigador

El Tanque de Reserva a comparación del Tanque principal que llenaba automáticamente, está configurado para que solo se habrá o se cierre cuando uno lo desee, esto debido a que solo se los utiliza en casos especiales.

**Descripción del diagrama de bloques figura 10:**

Para el segundo *while loop* para el Tanque de la Fuente se realizó la misma programación del primer *while loop*, esto porque va a realizar lo mismo con la diferencia que sus datos se van almacenar mediante *Add Shift Register*.

Para el tanque Principal se programó el vaciado automático, donde unido los dos *while loop* mediante un *Add Shift Register* su ciclo se repetirá.

Finalmente, el tanque de Reserva se vacía únicamente cuando se presione el pulsador de despoje abriendo su válvula.

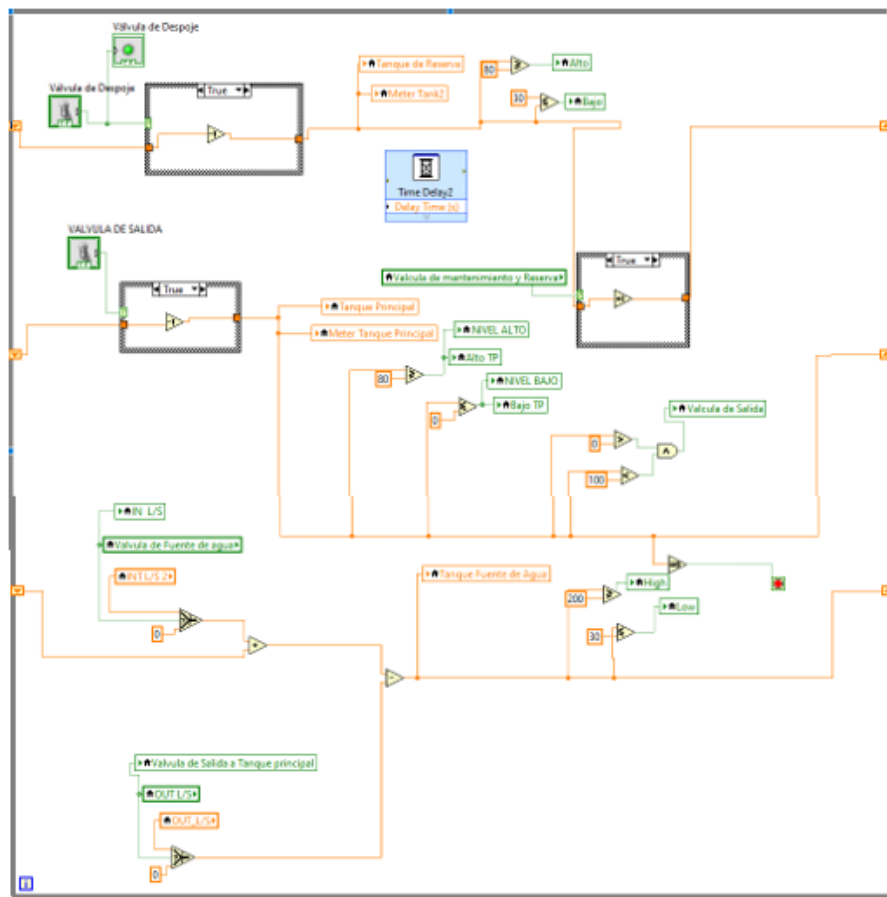


Figura 10. Diagrama de Bloques *while loop 2*  
Elaborado por: El investigador

### 3.3.3 Etapa envío de datos por la red de área local

En esta etapa se envía los datos que se recibe de todos los sensores de nivel de agua hacia la red y se los visualiza en el sitio donde se lo detectó como en la interfaz gráfica. Para lo cual primero se descarga todas las librerías para ESP8266, así como el protocolo para Modbus IP.

#### Código de programación Arduino

Es una serie de comandos que ordena al microcontrolador como configurarse y que función realizar.

#### *Descripción de código:*

En el entorno de programación se crea las variables para una dirección IP en caso sea estático, caso contrario se lo asigna de forma automática.

Luego, se crea un objeto de la biblioteca *Ticker* esto permite llamar una función repetidamente en cierto periodo, se asigna los puertos para escritura y lectura, así como la dirección IP en el protocolo Modbus TCP/IP.

Para la verificación de programación se utilizan los comandos de algoritmo especificados en el Anexo 6.

#### Asignación de direcciones para Arduino.

Al utilizar el protocolo TCP/IP se asigna los puertos correspondientes en el código de programación de Arduino, ver en la tabla 7.

Tabla 7. Direccionamiento Modbus

Primary Table	Description
0	Output Coils
1	Input Coils
3	Internal Registers
4	Holding Registers

Elaborado por: El investigador

#### *void setup()*

Se configura la velocidad del puerto a 115200 baudios, así como el nombre de la red WIFI y la contraseña de la red inalámbrica, también se realiza un bucle que permita

esperar mientras ingrese la dirección IP, también se puede escribir la lectura y escritura de los registros. Ver Anexo 7 para su comprensión.

***void loop***

Con el comando *mb.task()* se envía a correr el esclavo con un retardo de 10 ms, se asigna a cada dirección del Modbus TCP en caso sea de lectura o escritura, su código se puede visualizar en el Anexo 8.

Al mismo tiempo se ha asignado indicadores en los cuales muestre el nivel bajo y alto de cada tanque, simplemente ocupa un código de sentencia para ello, su código se le puede observar en el Anexo 9.

**Código de programación para asignación de puertos Modbus TCP/IP**

A través del protocolo Modbus TCP/IP se puede enviar datos de entrada y de salida y de recibirlos, para lo cual se recomienda conocer los comandos adecuados para cada sentencia al momento de programarlos, observar la tabla 8 para una mejor comprensión.

Tabla 8. Código para asignar entradas o salidas digitales y analógicas Modbus TCP

<b>Código para envío o recepción de datos</b>	<b>Descripción</b>
//Agregar LAMP1_COIL <i>mb.addCoil(LAMP1_COIL);</i>	Registro de salidas digitales
// Agregar SWITCH_ISTS addIsts() <i>mb.addIsts(SWITCH_ISTS);</i>	Para entradas digitales
// Agregar PWM_HREG <i>mb.addHreg(PWM_HREG);</i>	Se usa addHreg() para salidas analógicas o para almacenar valores en el dispositivo
// Agregar SENSOR_IREG <i>mb.addIreg(SENSOR_IREG);</i>	Se usa addIreg() para entradas analógicas

Elaborado por: El investigador

### 3.4 Diseño del sistema Real

#### 3.4.1 Análisis del plan nacional de frecuencias

Las estaciones del servicio fijo podrán utilizar excepcionalmente frecuencias en las bandas de frecuencias 4 063-4 123 kHz y 4 130-4 438 kHz, con una potencia media inferior a 50 W, exclusivamente para la comunicación dentro del país en el que estén situadas y a condición de no causar interferencia perjudicial al servicio móvil marítimo.

Las estaciones del servicio de aficionados que utilicen la banda de frecuencias 5 351,5-5 366,5 kHz no se recomienda rebasar una potencia radiada máxima de 25 W (p.i.r.e.).

Sólo para la comunicación dentro del país en que se encuentren, las frecuencias de la banda 5 900-5 950 kHz podrán ser utilizadas por estaciones para servicio móvil salvo móvil aeronáutico (R) (en las Regiones 2 y 3) Cuando utilicen frecuencias para estos servicios, se insta a las administraciones a emplear la mínima potencia necesaria y a tener en cuenta la utilización estacional de frecuencias por el servicio de radiodifusión publicada de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones.

Desde el punto de vista de la atribución de las bandas de frecuencias, se ha dividido el mundo en tres Regiones como se indica en la de la figura 11, en lo cual Ecuador pertenece a la región 2 como lo muestra en el mapa.

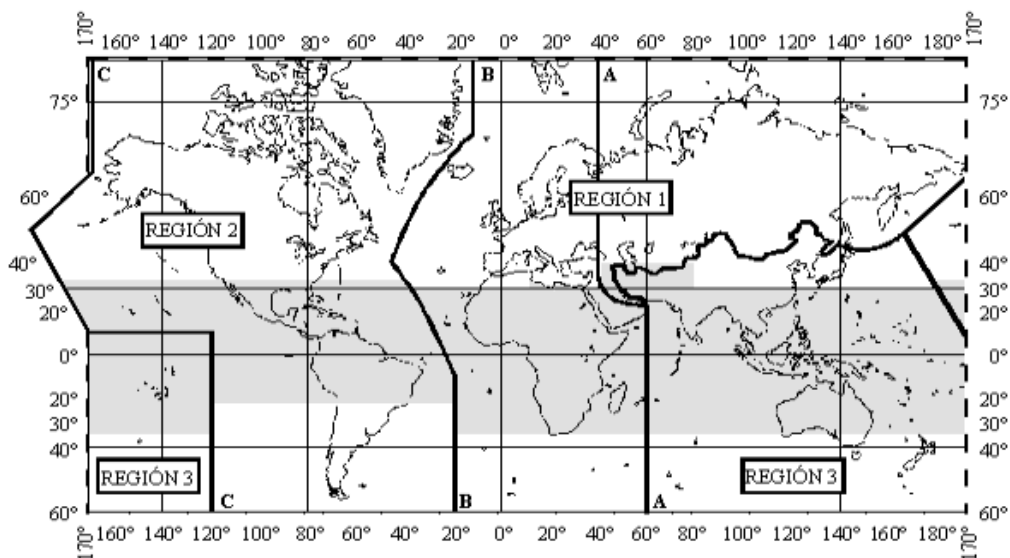


Figura 11. División de Regiones para la Regulación de ondas de Radio de acuerdo a la UIT [32].

En cuanto al servicio fijo:

- En las bandas 452,500 – 457,475 MHz, 462,500 – 467,475 MHz, 2570 – 2620 MHz y 10,15 – 10,65 GHz, también operan, a título primario, redes de acceso para los servicios de telefonía fija, portador y acceso a Internet.
- En las bandas 470 – 608 MHz y 614 - 698 MHz, también operan, a título secundario, redes de acceso para los servicios de telefonía fija, portador y acceso a Internet [32].

### **Ancho de banda requerido por Aplicación en Internet**

Para el envío de mensajes de texto, correos de texto, navegación web, que incluyan datos, voz y videos a través de la red, tiene un requisito de velocidad de bps para hacerlos en cada una de ellas como lo indica en la tabla 9.

Tabla 9. Consumo de ancho de banda requerido por internet

<b>Aplicaciones</b>	<b>Requisito/ Usuario</b>	<b>Notas</b>
Mensajes de texto/ IM	< 1 kbps	Como el tráfico es infrecuente y asíncrono, Mensajería Instantánea tolera latencia alta.
Correo Electrónico	1 a 100 kbps	El email es asíncrono e intermitente así que va a tolerar latencia
Navegación Web	50 - 100+ kbps	La comunicación es asíncrona, así que una buena cantidad de retardo puede tolerarse. A medida que los navegadores solicitan más datos (imágenes grandes, descargas largas, etc.) el uso de ancho de banda aumenta considerablemente.
Audio en tiempo real	96 - 160 kbps	Cada usuario de audio en tiempo real va a usar una cantidad considerable y constante de ancho de banda. Puede tolerar latencia transitoria muy baja.



Voz sobre IP (VoIP)	24 - 100+ kbps	Igual que con el audio en tiempo real, la VoIP compromete un ancho de banda constante por cada usuario durante el tiempo de la llamada. Pero con la VoIP, el ancho de banda se usa aproximadamente de manera igual en ambas direcciones. La latencia es baja
Video en tiempo real (streaming)	64 - 200+ kbps	El video en tiempo real necesita un caudal elevado y baja latencia para funcionar adecuadamente.
Aplicaciones peer-to-peer	0- infinito Mbps	Las aplicaciones peer-to-peer toleran cierta latencia y usar todo el caudal disponible para transmitir datos al mayor número de clientes posible, en el menor tiempo posible

Elaborado por: El investigador

### 3.4.2 Arquitectura de red inalámbrica

En la figura 12 se muestra el diseño de la red de comunicaciones para los tanques reservorios que posee una matriz principal y tres reservorios de agua dentro de la junta administradora de agua potable de Picaihua

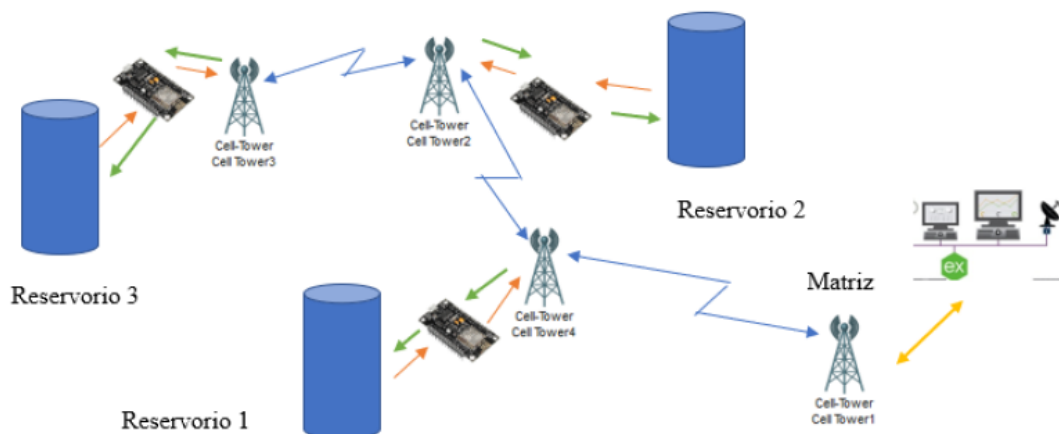


Figura 12. Diseño de Red de sistema de comunicación de largo alcance  
Elaborado por: El investigador

**Bandas de Frecuencias:** Se utilizó la banda de frecuencias de 5,8 GHz, porque ofrece un espectro menos congestionado y una mejor inmunidad frente a interferencias provenientes de otras fuentes.

**Ancho de Banda:** El ancho de Banda de los canales de esta versión es de 40 MHz, proporciona el doble de capacidad en relación con las anteriores versiones del estándar. aumenta en si la velocidad de transmisión de datos.

**Tasa de Transferencia de Datos o Throughput:** Este estándar permite tasas transferencia de datos de 300 a 600 Mbps teóricos para garantizar un crecimiento de la red y transmisión fiable de aplicaciones como voz, datos y video.

**Flujos:** Mejora el rendimiento del sistema permitiendo el uso de Múltiples Antenas con el sistema MIMO, utiliza un mismo canal y frecuencia aprovecha la propagación de múltiples trayectorias para mejorar la velocidad de transmisión reducir la tasa de bits errados. [16].

### **3.4.3 Requerimientos técnicos de equipos propuestos**

Al realizar las simulaciones de propagación de las señales de radio frecuencia en cada uno de los enlaces, hay que tener presente algunos parámetros antes de instalar los equipos como: que distancia va a tener el enlace, qué tipo de enlace se va realizar, en este caso se recomienda un punto a punto, dependiendo al enlace se elegirá el tipo de antena a utilizar, su altura, la potencia del radio y todos los dispositivos previamente investigados los cuales se necesita para un radio enlace.

Teniendo presente el tipo de enlace y la frecuencia que va trabajar, se eligió los siguientes equipos para el enlace punto a punto:

#### **Router inalámbrico de larga distancia o placa SBC**

Un Router que permite la interconexión de redes en forma inalámbrica tiene las características de un computador completo, una tarjeta que incluye memoria RAM, microprocesador y puertos usados para entrada y salida (puertos para interfaz de radio inalámbrico), incorpora un sistema operativo para configuración de enlaces para largo alcance.

### **Placa SBC a utilizar para la red troncal y red troncal secundaria**

Duagon ha presentado la nueva G28, una placa de CPU serie CompactPCI de 3U que ofrece los procesadores Intel Core e Intel Xeon W-11E Series de 11000.<sup>a</sup> generación y las CPU Tiger Lake-H, hasta 64 GB de RAM. Las interfaces Ethernet de 10 Gb opcionales brindan un alto rendimiento de datos y una conexión directa a la red troncal de la red, ver Anexo 10.

### **Tarjeta de red inalámbrica a utilizar para la placa SBC**

MTK7921LENLEN chip de nueva generación se utiliza en la tarjeta de red inalámbrica pcie, soporta banda dual de 2.4 GHz/5.8 GHz y la velocidad de 5.8 GHz puede alcanzar 1200 Mbps; la velocidad de 2.4 G puede alcanzar 600 Mbps, opera con hasta con el estándar 802.11ax, ver Anexo 11.

### **Radio**

Es un radio MIMO de doble polaridad de alta potencia de marca Ubiquiti RocketM5 con un Access Point radio base con un procesador de 400MHz y memoria RAM de 64Mb diseñado para estaciones bases Wi-Fi como propósito principal. Trabaja en la frecuencia de 5GHz, ver Anexo 12.

Especificaciones:

- Modelo: RocketM5
- Tipo procesador: Atheros MIPS 24KC, 400MHz.
- Memoria: 64MB SDRAM, 8MB Flash
- Interfaz de red: 1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface
- Potencia de transmisión: 500mW (27dBm +/-2dB)
- Alcance: Hasta 50+Km dependiendo del WISP, % de LoS y el entorno.
- Alcance/Throughput: Hasta 50+Mbps @ 50+Km
- Conector: RP-SMA (outdoor).
- Fuente alimentación: 12V 1A, inyector POE-24 incluido.
- Tipo alimentación: POE pasivo (pines 4,5+; 7,8)
- Temperatura de trabajo: -30C to +75C

- Dimensiones 160 x 80 x 30 mm (6,30 x 3,15 x 1,18 “)

### **Antenas directivas utilizadas para enlace troncal**

Generalmente utilizada para enlaces backhaul de sistemas Punto a Punto, es una antena tipo reflector parabólico como se ve en la figura 13, con las siguientes especificaciones:

- Modelo: Antena AirMax Dish RD-5G-30, ver Anexo 13.
- Frecuencia de Operación: 5.1-5.8 GHz (Banda de 5.8 Ghz)
- Ganancia: 30 dBi
- Apertura del haz horizontal: 5°
- Apertura del haz vertical: 5°
- Polarización: doble polaridad.
- Entradas MIMO: 2x2
- Conector: RP-SMA Hembra



Figura 13. Antena Ubiquiti Airmax DISH Parabólica de 30 dBi a 5 GHz [16].

### **Pigtails**

Los pigtails son cables coaxiales adecuados para realizar la conexión de un dispositivo inalámbrico (mini-pci, punto de acceso) tarjeta inalámbrica con una antena inalámbrica.

### **Pigtail de conectores MMCX a N-hembra.**

Interconecta la tarjeta inalámbrica hasta su salida de la caja metálica para su estación base. Ver Anexo 14.

### Pigtail de conectores N-macho a N-hembra

Interconecta la salida de la caja metálica a la antena con los conectores tipo N -hembra.  
Ver Anexo 14.

### Pigtail de conectores RP-SMA a N-Macho

Interconecta a la salida de la caja metálica hacia la antena con los conectores RP-SMA,  
Ver Anexo 14.

### Emplazamiento

La Figura 14 presenta el esquema de la Red Troncal con sus respectivas Coordenadas Geográficas y su respectivo enlace punto a punto a realizar en cada una de ellas. Donde en su matriz tendrá acceso a internet y se la distribuirá cada uno de sus puntos. Ver Anexo 15.

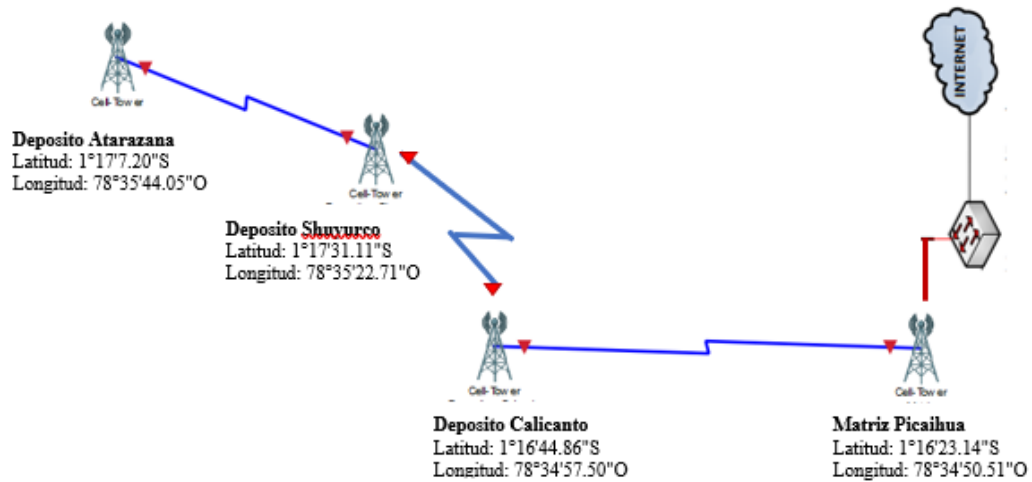


Figura 14. Diagrama de Red Troncal  
Elaborado por: El investigador

### 3.4.4 Planificación radioeléctrica

Para una planificación radioeléctrica es recomendable elegir el mejor software donde permita realizar los cálculos automáticamente, además de verificar si existe punto de vista entre cada enlace e ingresar los datos de ganancia, latitud, longitud y altura de las antenas, para lo cual se analiza la tabla 10.

Tabla 10. Tabla comparativa de software para un enlace de red

	<b>Google EART</b>	<b>SATMASTER</b>	<b>AirLink</b>	<b>Radio Mobile</b>
<b>Software</b>	Libre	Paga	Online Libre/ Paga	Libre
<b>Ingreso de Ubicación del lugar</b>	Permite	Permite	Permite	Permite
<b>Ingreso de parámetros de antena</b>	No disponible	Disponible pero limitada	Limitada	Disponible
<b>Radio de cobertura</b>	No	No	Si	Si
<b>Punto de vista</b>	Si	Si	Si	Si
<b>Cálculos realizados por el software</b>	No	Si, pero limitada	No	Si

Elaborado por: El investigador

Hecho el análisis para cada software libre que se ha utilizado durante toda la carrera, se elige Radio Mobile, por ser el mas completo al momento de simular un enlace ya sea punto a punto o punto multipunto.

Una vez decididos los sitios donde irán colocados las antenas se hace un estudio teórico donde se verifica que exista línea de vista del haz radioeléctrico respecto del perfil topográfico del terreno, todo esto se lo realiza mediante el software Radio Mobile.

#### **3.4.4.1 Estudio de cobertura**

El cálculo de la cobertura de las estaciones centrales de repetición se representa en base a los mapas cartográficos de Radio Mobile como se ve en la figura 15 el nivel de señal de la potencia recibida en los clientes asignada respecto a la siguiente escala de colores donde -67 dBm se considera el nivel óptimo de señal expresado por el color

blanco de la escala y -107 dBm es el peor nivel representado por el color azul: Ver Anexo 16.



Figura 15. Escala de colores representación de nivel de señal de Potencia de Recepción en dBm

### 3.4.4.2 Simulación de los radioenlaces

Para poder determinar la factibilidad de un enlace se utiliza la herramienta de simulación Radio Mobile en el que se representan los perfiles topográficos permitiendo analizar la existencia de línea de vista, el grado de obstrucción o despeje que tiene el perfil (60 % de la primera zona de fresnel), el nivel de señal en recepción con respecto al margen de sensibilidad del receptor ( $>-107\text{dBm}$ ), la altura mínima recomendable de la antena, la longitud del enlace y las características técnicas mínimas de los equipos.

#### Perfil de Elevación

Para definir las alturas de las antenas hay que tener presente si hay visibilidad para cada enlace, a lo cual se ocupó dos softwares que facilita mucho este proceso, los datos que da a conocer son: su perfil de elevación, así como si existe o no punto de vista entre ellas. Ver Anexo 15, 16 y 17.

#### Altura para las antenas

Una de las ventajas de Radio Mobile es que permite ajustar la altura de la base de las antenas, esto para tener por lo menos el 60% de la primera zona de Fresnel libre de obstáculos. Siendo las siguientes:

Tabla 11. Altura de Antenas

	<b>Edificio Principal</b>	<b>Reservorio de Agua (Calicanto)</b>	<b>Reservorio de Agua (Shuyurco)</b>	<b>Reservorio de Agua (La Atarazaana)</b>
Altura (m)	14	14	16	10

Elaborado por: El Investigador

## **Ganancia**

Tener muy en cuenta que existe varios tipos de enlace como son punto a punto o punto multipunto, además de, la distancia que separa a cada enlace, esto influye mucho al momento de determinar la ganancia en dBi, cada antena dependiendo al tipo de enlace tiene su propio rango de ganancia de fábrica, en este caso por el perfil de elevación y puntos de vista para cada uno de ellos se va a utilizar el punto a punto, esto implica que se va utilizar una antena Ubiquiti Airmax DISH de 30 dBi de ganancia, ver anexo 13.

### **3.4.5 Datos y Resultados del Sistema de comunicación Inalámbrica**

#### **3.4.5.1. Datos y resultados en el Simulación Radio Mobile**

En las siguientes tablas, se puede visualizar los parámetros que se ingresan en el software como: ganancia de la antena, longitud, latitud, altura de antena y como resultado Radio Mobile arroja como resultado la distancia que existe entre cada punto de enlace, pérdidas en el espacio libre, la potencia radiada, primera zona de Fresnel, nivel de señal recibido y margen de desvanecimiento.

Al obtener una línea de vista perfecta para cada enlace, no se requiere hacer cálculo de antenas, e incluso para un mejor margen de recepción se concluyó colocar cada antena sobre las infraestructuras que existe en la sede principal y en sus tres depósitos de agua.

#### **Cálculo del enlace de la sede Junta de Agua Potable (Picaihua) – Depósito de Agua 1 (Calicanto)**

- **Ubicación y perfil**

En la tabla 12 se puede visualizar todos los datos y cálculos realizados por el simulador de Radio Mobile entre la sede principal y el reservorio 1 ubicado en Calicanto. Ver Anexo 17.



Tabla 12. Resultados de la Simulación Enlace sede Junta de Agua Potable (Picaihua)-Depósito 1

<b>Sede junta Administradora de agua</b>		<b>Reserva de agua (Calicanto)</b>	
Latitud	1°16'23.14"S	Latitud	1°16'44.86"S
Longitud	78°34'50.51"O	Longitud	78°34'57.50"O
Elevación	2518 m	Elevación	715 m
Altura de la Antena	14 m	Altura de la Antena	14 m
<b>Sistema de radio</b>			
Tipo de radio	ROCKET M5 a 5GHZ	Tipo de radio	ROCKET M5 a 5GHZ
Potencia Tx(dBm)	25 dBm	Potencia Tx(dBm)	25 dBm
Tipo de Antena	AirMax Dish RD-5G-30	Tipo de Antena	AirMax Dish RD-5G-30
Ganancia de antena Tx(dBi)	30 dBi	Ganancia de antena Tx(dBi)	30 dBi
Entrada MIMO	2x2	Entrada MIMO	2x2
Perdidas en el cable(dBm)	0.5 dB	Perdidas en el cable(dBm)	0.5 dB
Sensibilidad de recepción(dBm)	-97 dBm	Sensibilidad de recepción(dBm)	-97 dBm
<b>Rendimiento</b>			
Distancia (km)		0.7 Km	
Frecuencia (GHz)		5.475 GHz	
Perdidas en el espacio (dB)		104.2 dB	
Primera zona de Fresnel (F1)		5.7F1	
Potencia Radiada Isotrópica Equivalente PIRE (dBm)		17.71 (W) – 42.48 dBm	
Nivel de señal recibido (dBm)		-50.2 dBm	
Margen de Desvanecimiento (dB)		46.8 dB	

Elaborado por: El investigador

Se determinaron los parámetros del enlace, como la frecuencia de operación (5475 MHz), la altura y la ganancia de la antena en cada emplazamiento, las potencias de transmisión y recepción (25 dBm), y la sensibilidad en recepción (-97 dBm) los resultados obtenidos de la simulación en el software Radio Mobile muestran una línea visual libre de obstáculos entre la sede JAAPP (Junta Administradora de Agua Potable Picaihua) hacia los reservorios de agua ubicada en el sector de Calicanto separadas por una distancia de 0.7 Km, con un despeje de 5.7 veces la primera zona de Fresnel mayor al límite establecido (0.6 F1 es decir el 60 % requerido).

Las pérdidas en el espacio libre que presenta el enlace, corresponden al valor de 104.2 dB, y se calculan en base a la distancia recorrida por la señal y la frecuencia a la que opera el enlace. El nivel de señal recibida es de -50.2 dBm siendo este un valor mayor al mínimo nivel de señal en la recepción -97 dBm. Y se obtiene un valor del margen de desvanecimiento mayor a 10 dB, más concretamente 26.8 dB. De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos el enlace es viable.

### **Cálculo del enlace Depósito de Agua 1 (Calicanto) – Depósito 2 (Shuyurco)**

#### **Ubicación y perfil**

En la tabla 13, se pueden visualizar todos los datos y cálculos realizados por el simulador de Radio Mobile entre, el reservorio 1 ubicado en Calicanto y el reservorio 2 ubicado en Shuyurco. Ver Anexo 17.

Tabla 13. Resultados de la Simulación Enlace Depósito 1 – Depósito 2

<b>Reserva de agua (Calicanto)</b>		<b>Reserva de agua (Shuyurco)</b>	
Latitud	1°16'44.9"S	Latitud	1°17'31.1"S
Longitud	78°34'57.5"O	Longitud	78°35'22.7"O
Elevación	2648 m	Elevación	2701 m
Altura de la Antena	14 m	Altura de la Antena	16 m
<b>Sistema de radio</b>			
Tipo de radio	ROCKET M5 a 5GHZ	Tipo de radio	ROCKET M5 a 5GHZ
Potencia Tx(dBm)	25 dBm	Potencia Tx(dBm)	25 dBm
Tipo de Antena	AirMax Dish RD-5G-30	Tipo de Antena	AirMax Dish RD-5G-30
Ganancia de antena Tx(dBi)	30 dBi	Ganancia de antena Tx(dBi)	30 dBi
Entrada MIMO	2x2	Entrada MIMO	2x2
Perdidas en el cable(dBm)	0.5 dB	Perdidas en el cable(dBm)	0.5 dB
Sensibilidad de recepción(dBm)	-97 dBm	Sensibilidad de recepción(dBm)	-97 dBm
<b>Rendimiento</b>			
Distancia (km)		1.63 Km	
Frecuencia (GHz)		5.475 GHz	
Perdidas en el espacio (dB)		111.5 dB	
Primera zona de Fresnel (F1)		4.3F1	

Potencia Radiada Isotrópica Equivalente PIRE (dBm)	17.71 (W) – 42.48 dBm
Nivel de señal recibido (dBm)	-60.1 dBm
Margen de Desvanecimiento (dB)	36.9 dB

Elaborado por: El investigador

Se determina los parámetros del enlace como la frecuencia de operación (5475 MHz), la altura y la ganancia de la antena en cada emplazamiento, las potencias de transmisión y recepción (25 dBm), y la sensibilidad en recepción (-97 dBm) los resultados obtenidos de la simulación en el software Radio Mobile muestran una línea visual libre de obstáculos entre los reservorios de agua ubicada en el sector de Calicanto y Shuyurco separadas por una distancia de 1.63 Km, con un despeje de 4.3 veces la primera zona de Fresnel mayor al límite establecido (0.6 F1 es decir el 60 % requerido).

Las pérdidas en el espacio libre que presenta el enlace toman el valor de 111.5 dB, se calculan en base a la distancia recorrida por la señal y la frecuencia a la que opera el enlace. El nivel de señal recibida es de -60.1 dBm siendo este un valor mayor al mínimo nivel de señal en la recepción -97 dBm. Y se obtiene un valor del margen de desvanecimiento mayor a 10 dB, más concretamente 36.9 dB. De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos el enlace es viable.

### **Cálculo del enlace Depósito de Agua 2 (Shuyurco) – Depósito 3 (Atarazana)**

#### **Ubicación y perfil**

En la tabla 14. se puede visualizar todos los datos y cálculos realizados por el simulador de Radio Mobile entre el reservorio 2 ubicado en Shuyurco y reservorio 3 ubicado en Atarazana. Ver Anexo 17.

Tabla 14. Resultados de la Simulación Enlace Depósito 2 – Depósito 3

<b>Reserva de agua (Shuyurco)</b>		<b>Reserva de agua (Atarazana)</b>	
Latitud	1°17'31.1"S	Latitud	1°17'07.3"S
Longitud	78°35'22.7"O	Longitud	78°35'43.9"O
Elevación	2701 m	Elevación	2645 m
Altura de la Antena	16 m	Altura de la Antena	10 m
<b>Sistema de radio</b>			
Tipo de radio	ROCKET M5 a 5GHZ	Tipo de radio	ROCKET M5 a 5GHZ
Potencia Tx(dBm)	25 dBm	Potencia Tx(dBm)	25 dBm
Tipo de Antena	AirMax Dish RD-5G-30	Tipo de Antena	AirMax Dish RD-5G-30
Ganancia de antena Tx(dBi)	30 dBi	Ganancia de antena Tx(dBi)	30 dBi
Entrada MIMO	2x2	Entrada MIMO	2x2
Perdidas en el cable(dBm)	0.5 dB	Perdidas en el cable(dBm)	0.5 dB
Sensibilidad de recepción(dBm)	-97 dBm	Sensibilidad de recepción(dBm)	-97 dBm
<b>Rendimiento</b>			
Distancia (km)		0.98 Km	
Frecuencia (GHz)		5.475 GHz	
Perdidas en el espacio (dB)		107.8 dB	
Primera zona de Fresnel (F1)		2.8F1	
Potencia Radiada Isotrópica Equivalente PIRE (dBm)		17.71 (W) – 42.48 dBm	
Nivel de señal recibido (dBm)		-55.9 dBm	
Margen de Desvanecimiento (dB)		41.1 dB	

Elaborado por: El investigador

Se determina los parámetros del enlace como la frecuencia de operación (5475 MHz), la altura y la ganancia de la antena en cada emplazamiento, las potencias de transmisión y recepción (25 dBm), y la sensibilidad en recepción (-97 dBm) los resultados obtenidos de la simulación en el software Radio Mobile muestran una línea visual libre de obstáculos entre los reservorios de agua ubicada en el sector de Shuyurco y Atarazana separadas por una distancia de 0.98 Km, con un despeje de 2.8 veces la primera zona de Fresnel mayor al límite establecido (0.6 F1 es decir el 60 % requerido).

Las pérdidas en el espacio libre que presenta el enlace toman el valor de 107.8 dB se calculan en base a la distancia recorrida por la señal y la frecuencia a la que opera el enlace. El nivel de señal recibida es de -55.9 dBm siendo este un valor mayor al mínimo nivel de señal en la recepción -97 dBm. Y se obtiene un valor del margen de desvanecimiento mayor a 10 dB, más concretamente 41.1 dB. De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos el enlace es viable.

### 3.4.5.2 Datos y resultados de forma matemática

Para realizar el cálculo matemático de balance de potencias de cada enlace se suman las ganancias y las pérdidas presentes en el enlace

#### Cálculo del enlace 1: Cede principal (Centro de Picaihua)– Reservorio (Calicanto):

Para estimar la viabilidad del enlace se establece el siguiente escenario como se muestra en la figura 16, para su respectivo cálculo matemático en cada sitio:

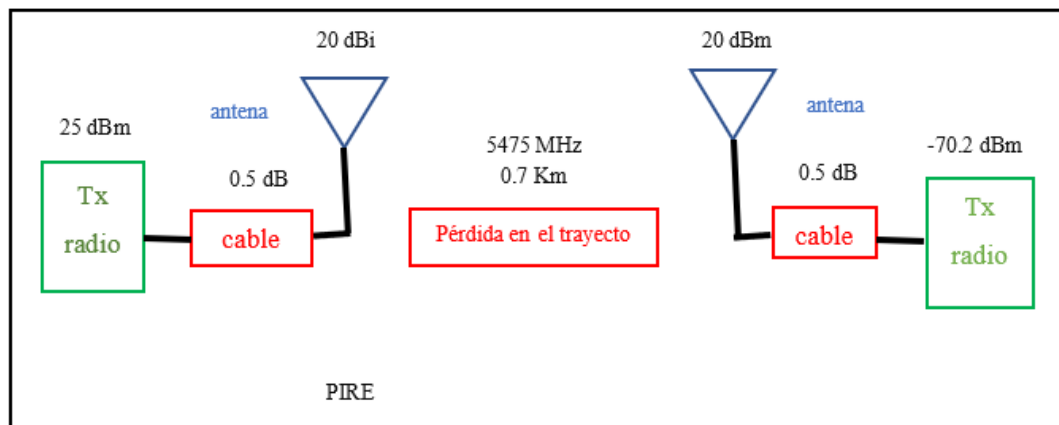


Figura 16. Descripción del Balance general de Potencias Sede principal-Reservorio (Calicanto)  
Elaborado por: El investigador

#### Cálculo de las pérdidas en el Espacio Libre (FSL)

Para este caso de enlace se tiene los siguientes datos:

$$F= 5475 \text{ MHz} \quad D=0.7 \text{ Km}$$

Cálculo de Perdidas en el Espacio Libre del enlace es:

$$FSL=32.44+20\log f+20\log D$$

$$FSL=32.44+20\log 5475+20\log 0.7$$

$$\text{FSL}=104.1 \text{ dB}$$

### Características de Los equipos en la Recepción y Transmisión

Potencia Recibida en el Receptor.	$\text{PR}_{\text{dBm}}=X$
Potencia del transmisor.	$\text{PT}_{\text{dBm}}=25 \text{ dBm}$
Pérdidas en los cables del Transmisor	$\text{LT}_{\text{dB}}=0.5 \text{ dB}$
Ganancia de la antena en Transmisión	$\text{GT}_{\text{dBi}}=20 \text{ dBi}$
Pérdida en el Espacio Libre.	$\text{FSL}=104.1 \text{ dB}$
Pérdida en los cables en el Receptor.	$\text{LR}_{\text{dB}}=0.5 \text{ dB}$
Ganancia de la antena en la Recepción.	$\text{GR}_{\text{dBi}}=30 \text{ dBi}$
Sensibilidad del Receptor	$\text{SR}_{\text{dBm}}=-97 \text{ dBm}$

El Potencia Isótropa Irradia Equivalente está dada por:

$$\text{PIRE}=\text{PT}_{\text{dBm}}-\text{LT}_{\text{dB}}+\text{GT}_{\text{dBi}}$$

$$\text{PIRE}=25\text{dBm}-0.5+30\text{dBi}$$

$$\text{PIRE}=54.5 \text{ dBm}$$

El nivel de señal recibido en el receptor está dado por:

$$\text{PR}_{\text{dBm}}=\text{PT}_{\text{dBm}}-\text{LT}_{\text{dB}}+\text{GT}_{\text{dBi}}-\text{FSL}_{\text{dB}}+\text{GR}_{\text{dBi}}-\text{LR}_{\text{dB}}$$

$$\text{PR}_{\text{dBm}}=25\text{dBm}-0.5\text{dB}+30\text{dBi}-104.1 \text{ dB}+30 \text{ dBi}-0.5 \text{ dB}$$

$$\text{PR}_{\text{dBm}}=-20.1$$

El margen de la potencia de recepción del enlace es:

$$\text{M}_{\text{dB}}=\text{PR}_{\text{dBm}}-\text{SR}_{\text{sBm}}$$

$$\text{M}_{\text{dB}}=-40.1 \text{ dBm}-(-97\text{dBm})$$

$$\text{M}_{\text{dB}}=76.9 \text{ dB}$$

Se realizas el mismo cálculo matemático para cada enlace.

### Cálculo del enlace 2: Reservorio (Calicanto) – Reservorio (Shuyurco):

Para estimar la viabilidad del enlace se establece el siguiente escenario como se muestra en la figura 17, para su respectivo cálculo matemático entre Calicanto y Shuyurco:

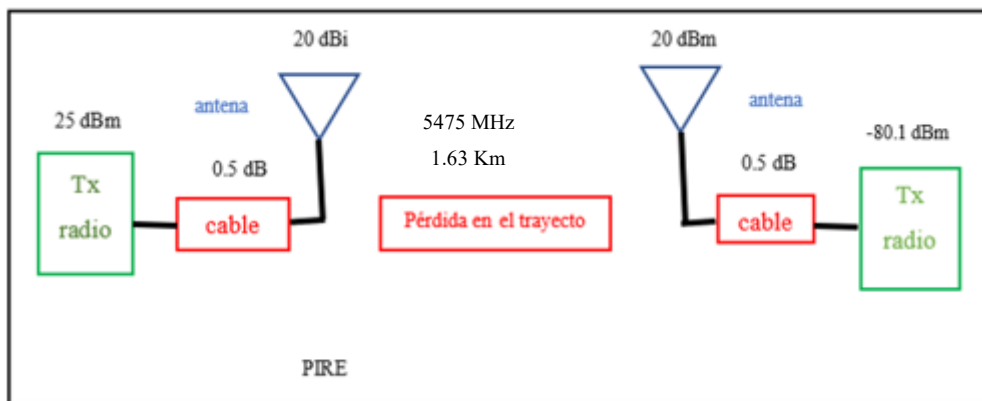


Figura 17. Descripción del Balance general de Potencias Reservoirio (Calicanto) – Reservoirio (Shuyurco)  
Elaborado por: El investigador

### Cálculo de las pérdidas en el Espacio Libre (FSL)

Para este caso de enlace se tiene los siguientes datos:

F= 5475 MHz      D=1.63 Km

Cálculo de Perdidas en el Espacio Libre del enlace es:

$$FSL=32.44+20\log f+20\log D$$

$$FSL=32.44+20\log 5475+20\log 1.63$$

$$FSL=111.45 \text{ dB}$$

### Características de Los equipos en la Recepción y Transmisión

Potencia Recibida en el Receptor.       $PR_{x_{dBm}}=X$

Potencia del transmisor.       $PT_{x_{dBm}}=25 \text{ dBm}$

Pérdidas en los cables del Transmisor       $LT_{x_{dB}}=0.5 \text{ dBi}$

Ganancia de la antena en Transmisión       $GT_{x_{dBi}}=20 \text{ dBi}$

Pérdida en el Espacio Libre.       $FSL=214.37 \text{ dB}$

Pérdida en los cables en el Receptor.       $LR_{x_{dB}}=0.5 \text{ dB}$

Ganancia de la antena en Recepción.       $GR_{x_{dBi}}=30 \text{ dBi}$

Sensibilidad del Receptor       $SR_{x_{dBm}}=-97 \text{ dBm}$

El Potencia Isótropa Irradia Equivalente está dada por:

$$PIRE=PT_{x_{dBm}}-LT_{x_{dB}}+GT_{x_{dBi}}$$

$$PIRE=25\text{dBm}-0.5+30\text{dBi}$$

$$PIRE=54.5 \text{ dBm}$$

El nivel de señal recibido en el receptor está dado por:

$$PR_{dBm} = PT_{dBm} - LT_{dB} + GT_{dBi} - FSL_{dB} + GR_{dBi} - LR_{dB}$$

$$PR_{dBm} = 25dBm - 0.5dB + 30dBi - 111.45 dB + 30 dBi - 0.5 dB$$

$$PR_{dBm} = -27.45$$

El margen de la potencia de recepción del enlace es:

$$M_{dB} = PR_{dBm} - SR_{sBm}$$

$$M_{dB} = -27.45 dBm - (-97dBm)$$

$$M_{dB} = 69.55 dB$$

### Cálculo del enlace3: Reservoirio (Shuyurco) – Reservoirio (Atarazana):

Para estimar la viabilidad del enlace se establece el siguiente escenario como se muestra en la figura 18, para su respectivo cálculo matemático entre Shuyurco y Atarazana:

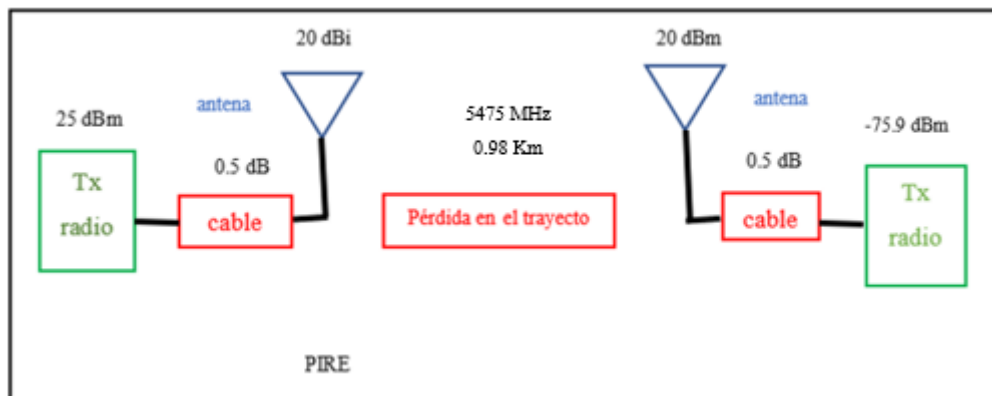


Figura 18. Descripción del Balance general de Potencias Reservoirio (Shuyurco) – Reservoirio (Atarazana)  
Elaborado por: El investigador

### Cálculo de las pérdidas en el Espacio Libre (FSL)

Para este caso de enlace se tiene los siguientes datos:

$$F = 5475 \text{ MHz} \quad D = 0.98 \text{ Km}$$

Cálculo de Pérdidas en el Espacio Libre del enlace es:

$$FSL = 32.44 + 20 \log f + 20 \log D$$

$$FSL = 32.44 + 20 \log 5475 + 20 \log 0.98$$

$$FSL = 107.03 \text{ dB}$$



## Características de Los equipos en Recepción y Transmisión

Potencia Recibida en el Receptor.	$PR_{dBm}=X$
Potencia del transmisor.	$PT_{dBm}=25 \text{ dBm}$
Pérdidas en los cables del Transmisor	$LT_{dB}=0.5 \text{ dBi}$
Ganancia de la antena en Transmisión	$GT_{dBi}=20 \text{ dBi}$
Pérdida en el Espacio Libre.	$FSL=214.37 \text{ dB}$
Pérdida en los cables en el Receptor.	$LR_{dB}=0.5 \text{ dB}$
Ganancia de la antena en Recepción.	$GR_{dBi}=30 \text{ dBi}$
Sensibilidad del Receptor	$SR_{dBm}=-97 \text{ dBm}$

El Potencia Isótropa Irradia Equivalente está dada por:

$$\begin{aligned} \text{PIRE} &= PT_{dBm} - LT_{dB} + GT_{dBi} \\ \text{PIRE} &= 25\text{dBm} - 0.5 + 30\text{dBi} \\ \text{PIRE} &= 54.5 \text{ dBm} \end{aligned}$$

El nivel de señal recibido en el receptor está dado por:

$$\begin{aligned} PR_{dBm} &= PT_{dBm} - LT_{dB} + GT_{dBi} - FSL_{dB} + GR_{dBi} - LR_{dB} \\ PR_{dBm} &= 25\text{dBm} - 0.5\text{dB} + 30\text{dBi} - 107.03 \text{ dB} + 30 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dBi} \\ PR_{dBm} &= -23.03 \end{aligned}$$

El margen de la potencia de recepción del enlace es:

$$\begin{aligned} M_{dB} &= PR_{dBm} - SR_{sBm} \\ M_{dB} &= -23.03 \text{ dBm} - (-97\text{dBm}) \\ M_{dB} &= 73.96 \text{ dB} \end{aligned}$$

## Resultados Matemáticos

A continuación, se puede observar en la tabla 15 todos los datos obtenidos del cálculo matemático para cada uno de los enlaces realizados.

Tabla 15. Tabla de resultados para cada enlace

	FSL	PIRE	$PR_{dBm}$	$M_{dB}$
Enlace 1	104.1 dB	54.5 dBm	-20.1	76.9 dB
Enlace 2	111.45 dB	54.5 dBm	-27.45	69.55 dB
Enlace 3	107.03 dB	54.5 dBm	-23.03	73.96 dB

Elaborado por: El investigador

Al verificar resultados del enlace obtenidos según el método matemático y el software Radio Mobile existe una variación mínima en el nivel de la señal de Recepción y el Margen de desvanecimiento del enlace, al realizar los cálculos en Radio Mobile toma una pérdida de línea de 0.5 + 12 dB adicionales por obstrucción y múltiples trayectorias.

### 3.4.5.3. Tabla comparativa de resultados

En la tabla 16 se compara los valores obtenidos matemáticamente versus los valores obtenidos en el software Radio Mobile.

Tabla 16. Tabla comparativa de resultados matemáticos y Radio Mobile

	<b>Cálculos matemáticos</b>				<b>Software Radio Mobile</b>			
	FSL	PIRE	PR <sub>x</sub> <sub>dBm</sub>	M <sub>dB</sub>	FSL	PIRE	PR <sub>x</sub> <sub>dBm</sub>	M <sub>dB</sub>
Enlace 1	104.1 dB	54.5 dBm	-20.1	76.9 dB	104.2 dB	42.48 dBm	-50.2 dBm	46.8 dB
Enlace 2	111.45	54.5 dBm	-27.45	69.55 dB	115.5 dB	42.48 dBm	-60.1 dBm	36.9 dBm
Enlace 3	107.03 dB	54.5 dBm	-23.03	73.96 dB	107.8 dB	42.48 dBm	-55.9 dBm	41.1 dB

Elaborado por: El investigador

### 3.4.6 Detalles de los emplazamientos

Como existe tres reservorios de tanques y una sede principal se va a necesitar 4 repetidores enlazados entre sí, lo cual se detallan a continuación:

#### **REPETIDORES**

##### **Edificio de la Junta de Agua Potable de Picaihua**

El edificio de la sede principal consta de dos pisos, la antena debe estar a una altura de 14 metros del suelo, considerando la edificación es necesario colocar un tubo poste galvanizado de 6 metros junto con una punta para el pararrayos. Ver anexo 19 y 20.



Figura 19. Edificio de la junta administradora de agua potable Picaihua  
Elaborado por: El investigador

### **Reservorio de agua sitio Calicanto**

Está situado en un lugar alto se puede colocar una antena a una altura de 16 metros del piso para la comunicación con la sede principal, ver figura 20.



Figura 20. Reservorios de Agua (Calicanto)  
Elaborado por: El investigador

### **Reservorio de agua sitio Shuyurco**

Estos tanques están localizados en el lugar más alto de la parroquia Picaihua y tiene visibilidad directa con los tanques de reserva de agua de Calicanto, por lo cual se puede colocar la antena a 16 metros del piso, esto a que consta con una infraestructura alta como se muestra en la figura 21.



Figura 21. Reservorios de Agua (Calicanto)  
Elaborado por: El investigador

### **Reservorio de agua sitio Atarazana**

El lugar está situado en la parte baja del sector, pero consta con una visibilidad con el lugar donde se encuentra los reservorios de agua de Shuyurco, a lo cual se puede colocar la antena a una altura 10 metros del suelo, Ver figura 22.



Figura 22. Reservorios de Agua (Atarazana)  
Elaborado por: El investigador

### **3.4.7 Direccionamiento Lógico**

Para la comunicación punto a punto se crea una red local para cada uno de los reservorios, se podrá proporcionar internet a estos sitios, para ello la empresa CNT ha proporcionado un servicio a la sede principal de agua potable de Picaihua, con una

dirección IP:192.168.1.0/24, con este servicio y dirección se podrá realizar un enrutamiento y estar comunicados todos los puntos de red.

Datos:

- Protocolo de direccionamiento: IPv4
- Subred asignada para la sede de Agua potable Picaihua: Subred que empieza 192.168.1.0.
- Clases C: 255.255.255.0
- Tipo de direccionamiento lógico: Direccionamiento sin VLSM.

### Diagrama de red de direccionamiento lógico

Cada estación de tanques tendrá comunicación una con otra hasta su sede principal, de manera que cada uno tendrá su propia dirección IP para que puedan recibir o transmitir datos, como se muestra en la figura 23.

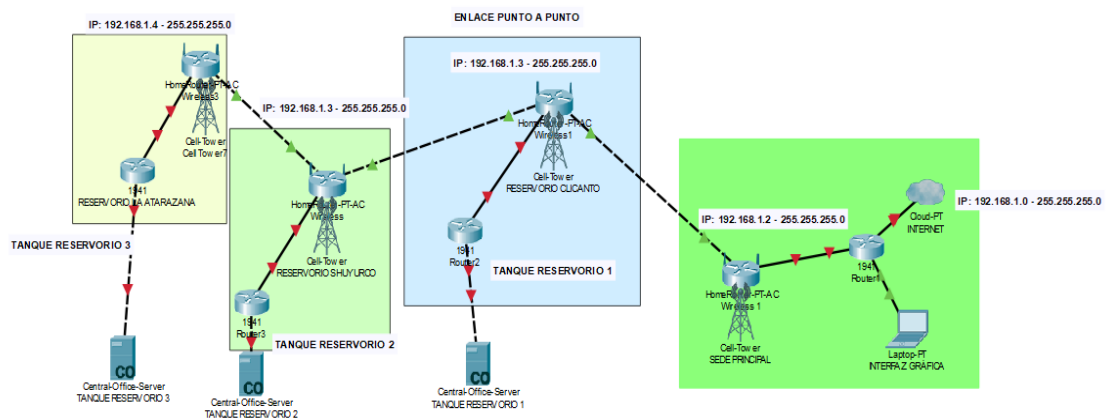


Figura 23. Diagrama de red de direccionamiento lógico  
Elaborado por: El investigador

## 3.5 Análisis de Costos

### 3.5.1. Presupuesto del prototipo

El presupuesto para la implementación del prototipo del sistema de comunicación inalámbrica se detalla en la tabla 17.

Tabla 17. Presupuesto del Prototipo.

N°	Detalle	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Total \$
1	NodeMcu ESP8266	c/u	2	25	50
2	Fuente de alimentación	c/u	2	15	30
3	Sensor de flotador de nivel de agua para Arduino	c/u	4	25	100
4	Mini electroválvulas para Arduino	c/u	2	35	70
5	Cables de conexión macho -hembra	c/u	100	45	45
6	Cables de conexión macho -macho	c/u	100	45	45
7	Diodos Led	c/u	30	0.20	6
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 344,00
				<b>L</b>	
				<b>12% IVA</b>	\$ 41,28
				<b>TOTAL</b>	\$ 385,28

Elaborado por: El investigador

### 3.5.2 Presupuesto para la implementación del sistema de comunicación

Teniendo presente el diseño propuesto se determinan los costos para la implementación con un costo estimado de equipos y materiales que serán necesarios para el sistema.

#### **COSTO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN**

##### **Costo de la red troncal y red de Acceso**

Se determina inicialmente costos relativos a infraestructura física, los cuales se observa en tabla 18.

##### **Costo de los equipos**

Para el costo de los equipos que serán utilizados en la red troncal y de acceso según el diseño propuesto se describen en la tabla 19.

Tabla 18. Costos referentes de infraestructura de la red

N°	Detalle	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Total \$
1	Caseta 2.5 x 2.5 x 2 metros	c/u	1	4650.00	4,650.00
2	Tubo poste galvanizado de 6 metros (alojamiento de antenas)	c/u	7	50.00	350.00
<b>SUBTOTAL</b>					\$ 5,000.00
<b>12% IVA</b>					\$ 600.00
<b>TOTAL</b>					\$ 5,600.00

Elaborado por: El investigador

Tabla 19. Costo Referenciales de Telecomunicaciones de la red

N°	Detalle	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Total \$
1	Antena AirMax Dish RD-5G-30/30 dBi/5,8GHz/MIMO	c/u	7	190.00	1,330.00
2	Cable Pigtail LMR 400 N-MACHO A N-MACHO 1.30MT L-COM	c/m	96	30.00	2,880.00
3	Cable Pigtail RG58 N-MACHO A RP-SMA MACHO REVERSO / 60 Ctm. / RG58	c/m	24	25.00	600.00
4	Pigtail MMCX - N hembra	c/u	30	25.00	750.00
	Rack de Pared 6UR + Bandejas 19" Beaucoup	c/u	7	44.00	308.00
	Bandeja Estándar 19'' Negro 2UR	c/u	7	21.00	147.00
	Placa de CPU serie CompactPCI de 3U /Intel Core e Intel Xeon W-11E/64 GB de RAM.	c/u	7	428.00	2,996.00
	Tarjeta de red inalámbrica MTK7921LENLEN/2.4 GHz/5.8 GHz /velocidad de 5.8 GHz / 1200 Mbps/ 600 Mbps, / estándar 802.11ax.	c/u	7	31.90	223.30

	Radio Ubiquiti RocketM5 con un Access Point radio base con un procesador de 400MHz y memoria RAM de 64Mb / 5GHz.	c/u	7	55.00	385.00
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 9,619.3
				<b>12% IVA</b>	\$ 1,154.3
				<b>TOTAL</b>	\$10,773.6

Elaborado por: El investigador

### Costo de los equipos de energía y protección

La tabla 20 corresponde al costo de sistema de energía y protección eléctrica de los equipos contemplados.

Tabla 20. Costo correspondiente al sistema de protección y energía eléctrica

Nº	Detalle	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Total \$
1	Sistema de Pararrayos	c/u	4	750.00	3,000.00
2	Sistema de puesta a tierra tipo malla en torre	c/m	4	250.00	1000.00
4	UPS Liebert APS 5-20kVA	c/u	4	623.00	2,492.00
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 6,492.00
				<b>12% IVA</b>	\$ 779.04
				<b>TOTAL</b>	\$ 7,271.04

Elaborado por: El investigador

### ***COSTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LOS TANQUES***

Al contar los tanques con un sistema de control automático para llenado y apertura de tanques, así como para el monitoreo con indicadores en cada reservorio con sus sensores de agua, se necesita de una NodeMcu ESP8266 para el envío de datos, para lo cual se requiere los siguientes dispositivos mostrados en la tabla 21.



Tabla 21. Costo del sistema de control de los tanques

N°	Detalle	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Total \$
1	NodeMcu ESP8266	c/u	3	25.00	75.00
2	Bc.ec Router Tp-link Ax3000 Archer Ax55 Usb Dual Band Wifi 6	c/u	3	125.00	375.00
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 450.00
				<b>12% IVA</b>	\$ 54.00
				<b>TOTAL</b>	\$ 504.00

Elaborado por: El investigador

### COSTOS DE LOS EQUIPOS EN LA MATRIZ

Los dispositivos a usar en la matriz se muestran a continuación en la tabla 22.

Tabla 22. Costos de equipos matriz

N°	Detalle	Unidad	Cantidad	Valor Unitario \$	Total \$
1	Bc.ec Router Tp-link Ax3000 Archer Ax55 Usb Dual Band Wifi	c/u	1	125.00	125.00
2	Computador Hp Intel Core i7-12700T 3.60Ghz Doceava Generación Disco SOLIDO 512gb + 16gb Ram Led 22" All In One Aio	c/u	1	1200.00	1,200.00
				<b>SUBTOTAL</b>	\$ 1,325.00
				<b>12% IVA</b>	\$ 159.00
				<b>TOTAL</b>	\$ 1,484.00

Elaborado por: El investigador

### Costo Total del Proyecto

En la tabla 23 se observa el precio de los costos de telecomunicaciones como la infraestructura, costo de energía y protección eléctrica.

Tabla 23. Costo Total del Proyecto

<b>Tipo</b>	<b>Costo Total</b>
Costo de Infraestructura	\$ 5,600.00
Costo de Telecomunicaciones	\$ 10,773.60
Costo de protección y energía	\$ 7,271.04
Costo del sistema de control de tanques	\$ 504.00
Costos de equipos en la matriz	\$ 1,484.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 25,632.00</b>

Elaborado por: El investigador

## CAPÍTULO IV

### 4.1. CONCLUSIONES

Realizado el trabajo de investigación, se establecen las siguientes conclusiones:

- La construcción del prototipo del sistema propuesto permite una manera más rápida y eficiente al momento de monitorear los sistemas de tanques de agua, así como el vaciado o llenado de los mismos mediante los interruptores en la interfaz gráfica, evita ir personalmente al sitio en caso haya una emergencia por un derrumbe o deslave. Ver anexo 20 y 21.
- Los resultados obtenidos para los enlaces punto a punto se determinó que existe el 100% de la primera zona de Fresnel libre, por lo que no fue necesario realizar el cálculo de antenas. Las alturas de las antenas se consideraron tomando en cuenta las edificaciones que existen en cada sitio.
- Según la visita realizada a los reservorios de agua, se verificó que uno de ellos tiene una programación automática ya hecha con Arduino Nano en el sector de Shuyurco, lo que facilitó el realizar el enlace y conexión al ESP8266 para enviar o recibir datos en un área local, mientras que en los depósitos de agua sector Calicanto solo existe indicadores para el monitoreo de niveles de agua, y en Atarazana solo existe electroválvulas para su cierre o apertura del flujo de agua hacia sus reservorios, por lo cual se realizó una programación en Arduino idéntica a la primera para su respectivo monitoreo en caso deseen hacerlo automático.
- Para realizar el envío y recepción de datos se utilizaron los protocolos TCP/IP a través de KEPSERVEREX lo que facilitó la iteración con LabVIEW al momento de devolver los datos a la ESP8266, con las múltiples direcciones que tiene para el protocolo de Modbus.
- A través de la investigación realizada, mediante el software Radio Mobile se verifica los datos técnicos de los equipos, antenas y tecnología que serán empleados para el diseño, son recomendables para el radio enlace, se verifica sus valores de forma matemática y se ratifica así que el proyecto es viable.

## 4.2. RECOMENDACIONES

Durante la realización del proyecto y las pruebas de funcionamiento del sistema se mencionan las siguientes recomendaciones:

- Para el envío y recepción de datos a través del protocolo Modbus mediante Arduino y el KepServerEx se recomienda investigar adecuadamente las múltiples direcciones a utilizarla, esto varían dependiendo si son entradas o salidas digitales o analógicas, cada una tiene su rango de direcciones.
- Las direcciones de Modbus no son las mismas para el código de programación en la ESP8266, es decir si se usa la dirección 10003 en KepServerEx en el código de Arduino para la ESP8266 se asigna el puerto con la dirección 02.
- Se recomienda usar una dirección estática en el código de programación para la ESP8266 porque se configura en el software KepServerEx, para la recepción o envío de datos que se reciben en el Arduino, para evitar inconvenientes de conexión cuando se genere una dirección IP diferente.
- Al momento de simular o calcular la primera zona de Fresnel, tomar en consideración que sea mayor al 60% requerido, la señal recibida sea mayor al mínimo nivel de la señal de recepción y finalmente obtener un margen de desvanecimiento mayor a 10 dB.
- Considerar en un futuro cercano el migrar todas las direcciones IP configuradas con el protocolo IPv4 al protocolo IPv6, en donde, se tendrá la posibilidad de conectar mayor cantidad de dispositivos, mejorando la seguridad, eficiencia y la escalabilidad de la red propuesta.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sanchez Chan and Lema Ordoñez, “Elaboración de una interfaz de comunicación inalámbrica entre un equipo maestro y el sistema de control de PH de una piscina de producción camaronera,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, Quito, 2018.
- [2] del Pozo Johanna, “Implementación de un Sistema de red inalámbrica mediante RFID para la supervisión y control de libros en tiempo real de la biblioteca Central de la ESPOCH basado en el internet de las cosas,” Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, 2019.
- [3] Roa Edisson, “Análisis de seguridad de tecnologías inalámbricas de comunicación basado en radio definida mediante software,” Universidad Técnica Particular De Loja, Ambato, 2019.
- [4] Ortiz Michelle, “Desarrollo de una Red de Sensores Inalámbricos utilizando Tecnología LoRa para el Monitoreo de un Sistema,” Universidad Técnica Salesiana, Quito, 2020.
- [5] Navarrete José, “Implementación de una red de sensores inalámbricos mediante sistema embebido Raspberry Pi,” Universidad Católica De Santiago de Guayaquil, Latacunga, 2021.
- [6] ONU, “NO DEJAR A NADIE ATRÁS,” in *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*, ISBN., Fontenoy: UNESCO, 2019, pp. 27–28.
- [7] Estrada Henry, “DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA EL ROSARIO, DEL CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO,” Universitat Politècnica de Valencia, Guano, 2019.
- [8] INEC, “Población y Demografía,” <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>, 2022.
- [9] Pérez Luis, “Tanque de almacenamiento,” <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/tanque-de-almacenamiento>, Nov. 2020.
- [10] EICOS, “¿Qué es un Sensor de Nivel?,” <https://www.eicos.mx/datos-tecnicos/que-es-un-sensor-de->

nivel/?gclid=CjwKCAjwy7CKBhBMEiwA0Eb7aqvwxkbnRAf\_OMb0YAR0K9\_aBQsXuvhOkH6KFoAz2KboV6e3M2E42hoCsbMQAvD\_BwE, Feb. 2020.

- [11] DISTRITEC, “¿Qué es una electroválvula y para qué sirve?,” <https://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/>, 2021.
- [12] Gaviño Hernández, “Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB,” *Pearson Educacion*, Aguas Calientes, 2010.
- [13] Test America, “Tipos de antenas y funcionamiento,” <https://www.tesamerica.com/tipos-antenas-funcionamiento/>, Jan. 20, 2021.
- [14] Renzo Tapia, “Diseño, simulación y fabricación de antenas microstrip para sistemas de comunicación inalámbricas,” Universidad de Sonora, México, 2018.
- [15] Lescano Felipe, “Sistema de comunicación utilizando tecnología Wireless para proporcionar servicios de comunicación en las zonas comerciales de los cantones de la provincia de Tungurahua.,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [16] Salazar Jordy, “Redes inalámbricas,” in *Redes inalámbricas*, vol. 1, 2018, pp. 15–16.
- [17] Instituto Nacional de Ciberseguridad, “Enlace Punto a Punto y Punto a Multipunto,” <https://www.incibe.es/protege-tu-empresa/catalogo-de-ciberseguridad/listado-soluciones/enlace-punto-punto-y-punto>, 2020.
- [18] Tirado María, “Red inalámbrica de sensores para el monitoreo de la calidad del agua de la microcuenca del río quero,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [19] J. M. López, “WiFi 6: qué es, características, velocidad y diferencias,” *Malavida./ Internet y Tecnología*, Sep. 28, 2022. <https://www.malavida.com/es/analisis/wifi-6-que-es-caracteristicas-velocidad-y-diferencias-017428> (accessed Feb. 05, 2023).
- [20] Ultra - lab, “Arduino Rev3 Ethernet Shield con Módulo PoE,” *ultra-lab.net*, 2017. <https://ultra-lab.net/producto/shield-rev3-arduino-ethernet-con-modulo-poe/> (accessed Mar. 18, 2023).

- [21] PC Componentes, “Características de la nueva Raspberry Pi 4 Model B+,” *www.pccomponentes.com*, 2021. <https://www.pccomponentes.com/caracteristicas-raspberry-pi-4> (accessed Mar. 18, 2023).
- [22] Naylamp Mechatronics, “NODEMCU V2 ESP8266 WIFI,” 2021. <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html> (accessed Mar. 18, 2023).
- [23] Components, “NodeMCU ESP8266,” Apr. 22, 2020. <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet> (accessed Mar. 18, 2023).
- [24] Ultra - lab, “Sensor Ultrasonido HC-SR04 – Sensor de distancia,” *ultralab.net*, 2017. <https://ultra-lab.net/producto/sensor-ultrasonido-hc-sr04-sensor-de-distancia/> (accessed Mar. 18, 2023).
- [25] Rover Enviromental, “Sensor de humedad relativa (RHS),” *cab.inta-csic.es*, 2023. <http://cab.inta-csic.es/remes/es/descripcion-del-instrumento/sensor-de-humedad-relativa-rhs/#:~:text=El%20sensor%20de%20humedad%20mide,en%20el%20mástil%20Rover%20MSL.> (accessed Mar. 18, 2023).
- [26] Ss Dielect, “SENSOR NIVEL AGUA VERTICAL FLITADOR BOYA PEQUEÑO PLASTICO,” *ssdielect.com*, 2023. [https://ssdielect.com/sensores-para-liquidos/3920-zp2508.html#:~:text=ESPECIFICACIONES%20TECNICAS%3A&text=Capacidad%20de%20contacto%3A%2010W%20\(mínimo,\)%2C%2050W%20\(máximo\).&text=Corriente%20de%20conmutación%3A%200%2C5,\)%20300VDC%20\(más%20alto\).](https://ssdielect.com/sensores-para-liquidos/3920-zp2508.html#:~:text=ESPECIFICACIONES%20TECNICAS%3A&text=Capacidad%20de%20contacto%3A%2010W%20(mínimo,)%2C%2050W%20(máximo).&text=Corriente%20de%20conmutación%3A%200%2C5,)%20300VDC%20(más%20alto).) (accessed Mar. 18, 2023).
- [27] Innovatech, “Electroválvula De Bronce 2W-200-20,” *electronica.mercadolibre.com.ec*, 2020. [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517953403-electrovalvula-de-bronze-110120-vac-34-pulg-aire-y-agua-\\_JM#position=16&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=e50ce2c4-5e79-47ef-9759-0983550574d8](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517953403-electrovalvula-de-bronze-110120-vac-34-pulg-aire-y-agua-_JM#position=16&search_layout=stack&type=item&tracking_id=e50ce2c4-5e79-47ef-9759-0983550574d8) (accessed Mar. 18, 2023).
- [28] Innovaatech, “Electrovalvula Solenoide 2W-250-25,” 2021. <https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517889402-electrovalvula->

- solenoides-de-bronce-110v-1-pulg-aire-y-agua-  
\_JM#position=14&search\_layout=stack&type=item&tracking\_id=68eaa906-  
c5b6-4e97-82cc-aaae3052429f (accessed Mar. 18, 2023).
- [29] Tecmikro, “Valvulas Electricas Electrovalvulas 12v,” 2020.  
[https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-525850740-valvulas-electricas-electrovalvulas-12v-110v-220v-agua-aire-\\_JM#position=19&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=68eaa906-c5b6-4e97-82cc-aaae3052429f](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-525850740-valvulas-electricas-electrovalvulas-12v-110v-220v-agua-aire-_JM#position=19&search_layout=stack&type=item&tracking_id=68eaa906-c5b6-4e97-82cc-aaae3052429f) (accessed Mar. 18, 2023).
- [30] Uelectronics, “UNIT ELECTRONICS,” Feb. 16, 2016.  
<https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/120-sensor-de-nivel-de-liquido-vertical.html#:~:text=Con%20este%20sensor%20podr%C3%A1s%20conocer,flotador%20o%20boya%20de%20nivel.> (accessed Mar. 09, 2023).
- [31] TECmikro, “ELECTROVALVULA - VALVULA SOLENOIDE,”  
*tecmikro.com*, Apr. 06, 2018. <https://tecmikro.com/motores/560-electrovalvula-valvula-solenoides.html> (accessed Mar. 09, 2023).
- [32] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, “PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS ECUADOR 2021,”  
[https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/PNF-V.6.0\\_14-07-21\\_v.1.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/PNF-V.6.0_14-07-21_v.1.pdf), 2021.



## ANEXOS

**Anexo 1:** Sensor De Nivel De Agua  
En Acero Inoxidable, Modelo M5600



**Anexo 2:** Electroválvula  
Válvula de mariposa doble efecto modelo ANSI 150



*Anexo 3: Componentes Electrónicos*

*Modulo Wifi NodeMcu ESP8266*



Sensor de nivel flotador horizontal Arduino



Mini electroválvula para Arduino – 12 VDC



Batería 12VDC – 4 Amperios



*Módulo de relé 5 voltios*



#### Anexo 4: Asignación de direcciones para el protocolo Modbus TCP en el software KEPServerEX

The screenshot displays the KEPServerEX 6 Configuration interface. The main window shows a tree view on the left with 'Modbus TCP/IP' expanded, and a table on the right listing configured tags. An 'OPC Quick Client' window is overlaid, showing a tree view of the 'Kepware KEPServerEX.V6' connection and a table of data points. Below the OPC window, a 'Date' and 'Time' table shows recent events, and a 'Ready' status bar is visible.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
valvula_entrada	00002	Boolean	100	None
valvula salida	00023	Boolean	100	None
valvula de manteni...	00024	Boolean	100	None
valvula de despoje	00025	Boolean	100	None
bajo	10004	Boolean	100	None
ba	10006	Boolean	100	None
alto	10003	Boolean	100	None
al	10005	Boolean	100	None

Item ID	Data Type	Value	Timestamp
Modbus TCP/IP.E...	Boolean	1	01:31:24.545
Modbus TCP/IP.E...	Boolean	1	01:31:24.545
Modbus TCP/IP.E...	Boolean	1	01:31:24.545
Modbus TCP/IP.E...	Boolean	1	01:31:24.545
Modbus TCP/IP.E...	Boolean	0	01:31:24.556
Modbus TCP/IP.E...	Boolean	0	01:31:24.556
Modbus TCP/IP.E...	Boolean	0	01:31:24.556
Modbus TCP/IP.E...	Boolean	0	01:31:24.556

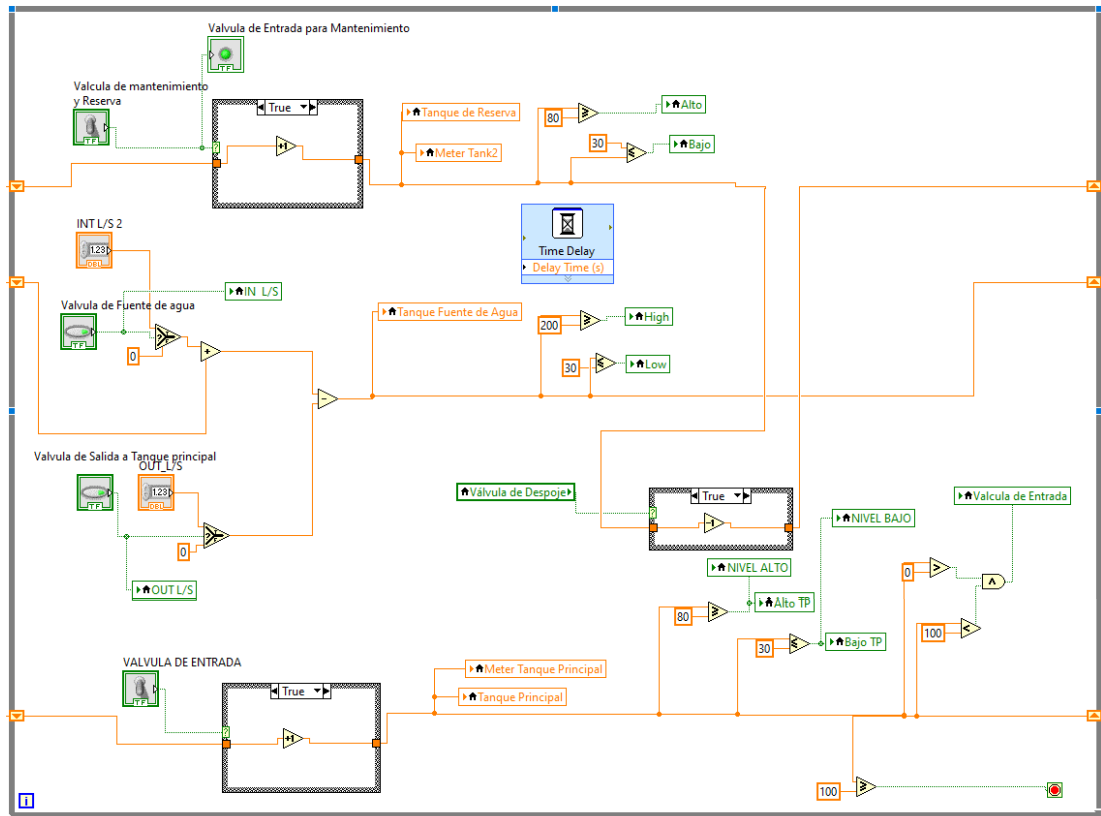
Date	Time	Event
3/2/2023	0:49:19	
3/2/2023	0:49:19	
3/2/2023	0:49:19	
3/2/2023	0:49:19	
3/2/2023	0:49:22	
3/2/2023	0:49:39	

#### Configuración para el envío de datos a través de LabVIEW

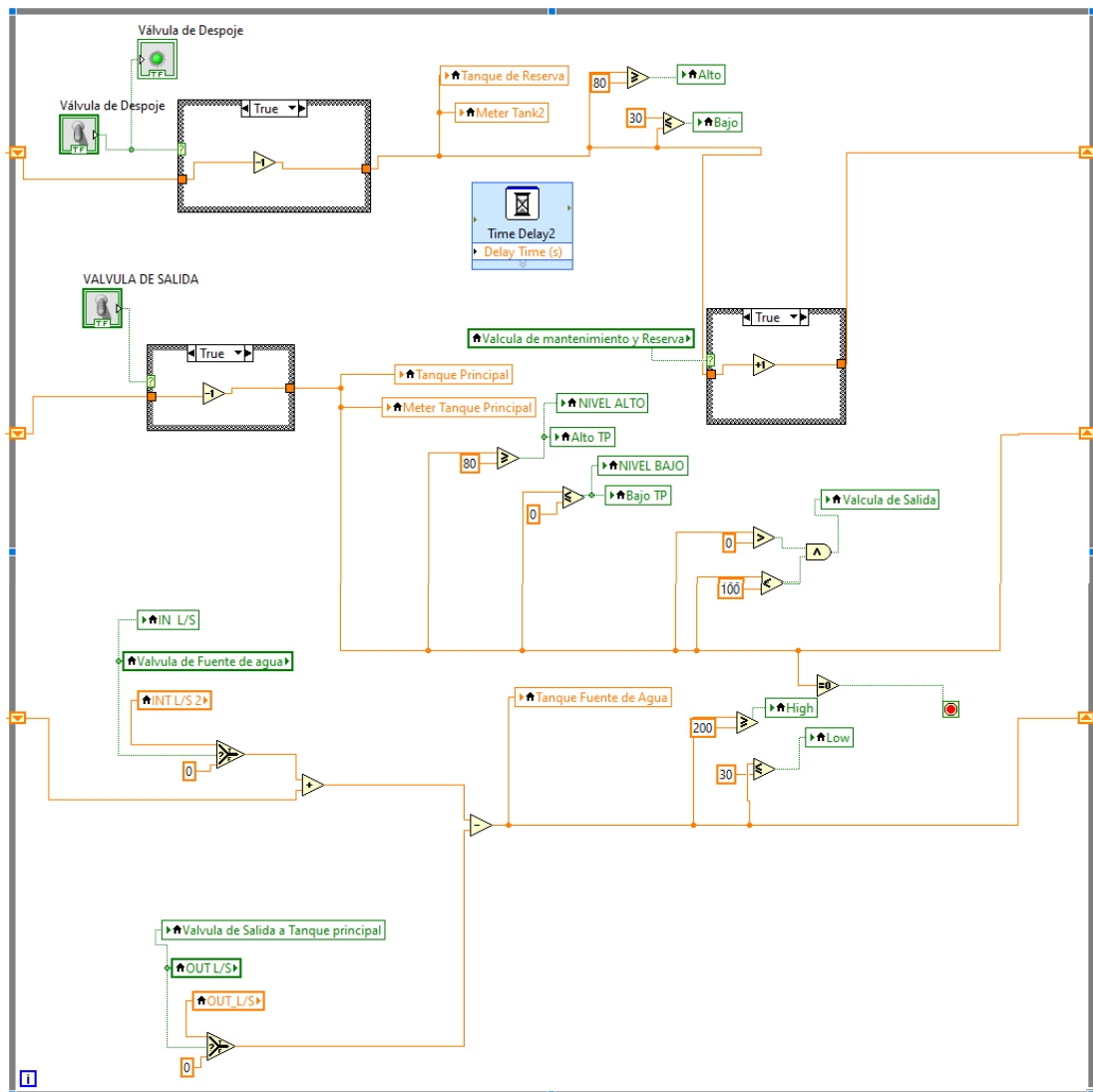
The screenshot shows the 'Boolean Properties: Válvula de Despoje' dialog box. The 'Data Binding' tab is active, showing 'DataSocket' as the 'Data Binding Selection' and 'Read only' as the 'Access Type'. A 'Select URL' dialog box is open, displaying a list of tags: 'al', 'alto', 'ba', 'bajo', 'valvula de despoje', 'valvula de mantenimiento', 'valvula salida', and 'valvula\_entrada'. The 'Browse host' and 'URL' fields are visible at the bottom of the dialog.

*Anexo 5: Programación de la interfaz gráfica de los tanques y enlace para el protocolo Modbus TCP/IP realizada en LabVIEW*

Primer While loop, programación de los tanques de agua para el llenado y vaciado de Tanque de Fuente de Agua y Reservorio.



Segundo While loop, programación del tanque de fuente de agua para el vaciado de tanques y llenado de Tanques de Fuente de Agua y Reservorio.



*Anexo 6: Código de programación de Arduino – Exportación de librerías, designación de direcciones para el protocolo Modbus TCP/IP*

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
✓ → 📄 ⬆️ ⬇️
tesis2.3 §
////////////////////////////////////Librerias////////////////////////////////////
#include <ESP8266WiFi.h>
#else ESP32
#include <WiFi.h>
#endif
#include <ModbusIP_ESP8266.h>
////////////////////////////////////
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <Modbus.h>
#include <Ticker.h>
//////////////////////////////////// WIFI - Configuración
//byte ip[]    = {192,168,1,104};
//byte gateway[] = {192,168,1,254};
//byte subnet[] = {255,255,255,0};
    Ticker Sample;

// #include <ModbusIP.h>
////////////////////////////////////7
//Registros Modbus
//const int SENSOR_IREG = 0;
////////////////////////////////////

const int estado = 02;
const int estado2 = 03;
const int estado3 = 04;
const int estado4 = 05;

const int VAL_COIL = 1; //valcul de entrada
```

```
const int VAL_COIL1 = 22; //valcula de salida
const int VAL_COIL2 = 23; //valcula de mantenimiento
const int VAL_COIL3 = 24; //valcula de despoje

const int valPin = 2; //GPI2 D4
const int valPin1 = 3; // GPI3 D9
const int valPin2 = 1; // GPI1 D10
const int valPin3 = 13; // GPI1 D7

int bajo = 0;
int alto = 0;
int bajol = 0;
int altol = 0;

ModbusIP mb;

unsigned long lastTime, sampleTime = 100;

////////////////////

////////////////////

void setup() {
  Serial.begin(115200);
```





*Anexo 7: Código de programación de Arduino – designación a puertos como salidas y entradas digitales*

tesis2.3§

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);

  WiFi.begin("RED-CRIS", "04awVjuclE");
  //Mb.begin("RED-CRIS", "04awVjuclE", ip, gateway, subnet);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi conectado");
  Serial.println("Dirección IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  mb.server();

  // mb.addIreg(SENSOR_IREG);
  mb.addIsts(estado);
  mb.addIsts(estado2);
  mb.addIsts(estado3);
  mb.addIsts(estado4);

  ////////////////////////////////////Valvula de Entrada
  pinMode(valPin, OUTPUT);
  mb.addCoil(VAI.COTI);
```

```

pinMode(valPin, OUTPUT);
mb.addCoil(VAL_COIL);
////////// Valvula de Salida
pinMode(valPin1, OUTPUT);
mb.addCoil(VAL_COIL1);

////////// Valvula de mantenimiento
pinMode(valPin2, OUTPUT);
mb.addCoil(VAL_COIL2);
////////// Valvula de despoje
pinMode(valPin3, OUTPUT);
mb.addCoil(VAL_COIL3);

//////////77

lastTime = millis();

//////////
pinMode(16, INPUT); //D0
pinMode(14, OUTPUT); //D5
//////////
pinMode(5, INPUT); //D1
pinMode(12, OUTPUT); //D6
//////////
//////////
pinMode(0, INPUT); //D3
pinMode(15, OUTPUT); //D8
//////////
pinMode(4, INPUT); //D2

```

*Anexo 8: Código de programación de Arduino – asignación de las direcciones de Modbus TCP a cada entrada y salida de la ESP8266*

tesis 2.3 §

```
void loop() {

    mb.task();

    digitalWrite(valPin, mb.Coil(VAL_COIL));
    digitalWrite(valPin1, mb.Coil(VAL_COIL1));
    digitalWrite(valPin2, mb.Coil(VAL_COIL2));
    digitalWrite(valPin3, mb.Coil(VAL_COIL3));

    if (millis() - lastTime > sampleTime) {
        lastTime = millis();

        // mb.Ireg(SENSOR_IREG, analogRead(A0));
        mb.Ists(estado, digitalRead(16));
        mb.Ists(estado2, digitalRead(5));
        mb.Ists(estado3, digitalRead(4));
        mb.Ists(estado4, digitalRead(0));
    }

    //////////////////////////////////////
    bajo = digitalRead(16);
    alto = digitalRead(5);
    bajol = digitalRead(4);
    altol = digitalRead(0);
    //////////////////////////////////////BAJO////////////////////////////////////
    if (bajo == HIGH) {
        digitalWrite(14, HIGH);
    }
}
```

*Anexo 9: Código de programación de Arduino – programación para los niveles de agua*

```
//////////////////////////////////BAJO//////////////////////////////////
if (bajo == HIGH) {
    digitalWrite(14, HIGH);
}
else {
    digitalWrite(14, LOW);
}

//////////////////////////////////ALTO//////////////////////////////////
if (alto == HIGH) {
    digitalWrite(12, HIGH);
}
else {
    digitalWrite(12, LOW);
}
//////////////////////////////////
//////////////////////////////////ALTO1//////////////////////////////////
if (alto1 == HIGH) {
    digitalWrite(15, HIGH);
}
else {
    digitalWrite(15, LOW);
}

delay(10);
}
//////////////////////////////////BAJO1//////////////////////////////////
```

Anexo 10: Catálogo de placa CPU serie CompactPCI de 3U

## cPCI-3620 Series

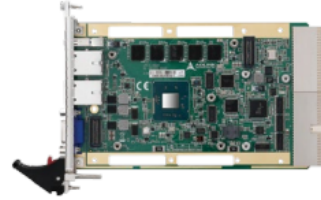
3U CompactPCI Quad-Core Intel® Atom™ Processor Blade

### Features

- Low power quad-core Intel® Atom™ Processor E3845 SoC
- Up to 4GB DDR3L-1333 ECC soldered memory
- Onboard 32GB SSD support
- Smart Embedded Management Agent (SEMA) for system health monitoring
- Optional additional GbE ports with MIL-STD M12 connectors



CompactPCI®



cPCI-3620 cPCI-3620D cPCI-3620S cPCI-3620T cPCI-3620TR cPCI-3620N

### Specifications

#### Processor & System

CPU  
µFC-BGA quad-core Intel® Atom™ processor E3845 SoC, 1.9GHz, 2MB L2 cache, TDP 10W

#### Memory

Single channel DDR3L-1333 ECC soldered, up to 4GB

#### BIOS

AMI EFI BIOS, dual 64M Bit SPI flash memory

#### Connectivity

##### PMC/XMC

One optional PCI 32-bit/66 MHz PMC site or PCIe x1 XMC site on 2nd or 3rd layer daughter board

##### Ethernet

Two 10/100/1000BASE-T Gigabit Ethernet Ports on faceplate by Intel® I210 controllers, switchable to J2

Two additional GbE in M12 MIL-STD connectors on layer 2 daughter board by Intel® 82574L (cPCI-3620T only)

## Anexo 11: MTK7921LENLEN chip



Personal Computer

-27% EDUP AC1300 Mbps PCIe tarjeta WiFi Bluetooth 4.2 disipador de calor doble banda 2.4G/5.8G PCI-E adaptador inalámbrico PCI Express tarjeta de red de Internet compatible con Windows 10/Win 8.1/Win 7 para computadora portátil de escritorio

★★★★★ (432 Calificaciones)

**Amazon's Choice**

SKU: B084P8KMHM

ORIGEN: Amazon (ver producto)

ENTREGA: De 7 a 15 días laborables

Modelo

Envío des

Condición

Aplica 4x

Diferidos

Tarjeta d

Peso (Kg)

Env


## Anexo 12: Radio Ubiquiti RocketM5

rocket™

DATASHEET


### Models

The Rocket enclosure is built to survive harsh environments and fits the Rocket mount built into every airMAX antenna. Pair the Rocket with the appropriate antenna for your PtP link or PtMP network.



#### *rocket™ M5*

The 5 GHz frequency band is free to use, worldwide, offers plentiful spectrum, and works well for long-distance links. However, 5 GHz signals have more difficulty passing through obstacles than lower-frequency signals.



#### *rocket™ M3 / M365*


The 3.65 GHz frequency band is noise-free in most areas; however, its use requires a license. There may be additional restrictions on its use depending on local country regulations.

## Anexo 13: Antena AirMax Dish RD-5G-30

RocketDish™

Datasheet


### 🕒 2.4 GHz Model



Model	Frequency	Gain	Radome*
RD-2G24	2 GHz	24 dBi	RAD-RD2

The 2.4 GHz frequency band is free to use, worldwide; however, it is extremely crowded due to interference from other wireless devices. Also, there are only three non-overlapping, 20 MHz channels available for use.

### 🕒 3 GHz Model



Model	Frequency	Gain	Radome*
RD-3G26	3 GHz	26 dBi	RAD-RD2

The 3 or 3.65 GHz frequency band is noise-free in most areas; however, its use requires a license. There may be additional restrictions on its use depending on local country regulations.

*Anexo 14: Conectores y Cables*

Pigtail de conectores MMCX a N-hembra



Pigtail de conectores N-macho a N-macho

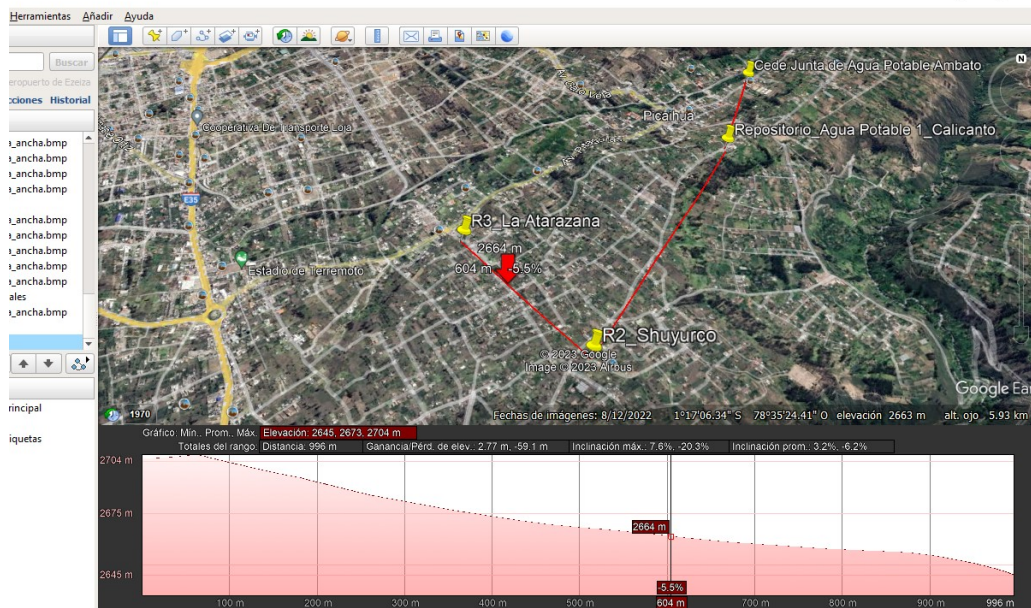


Pigtail de conectores RP-SMA a N-macho

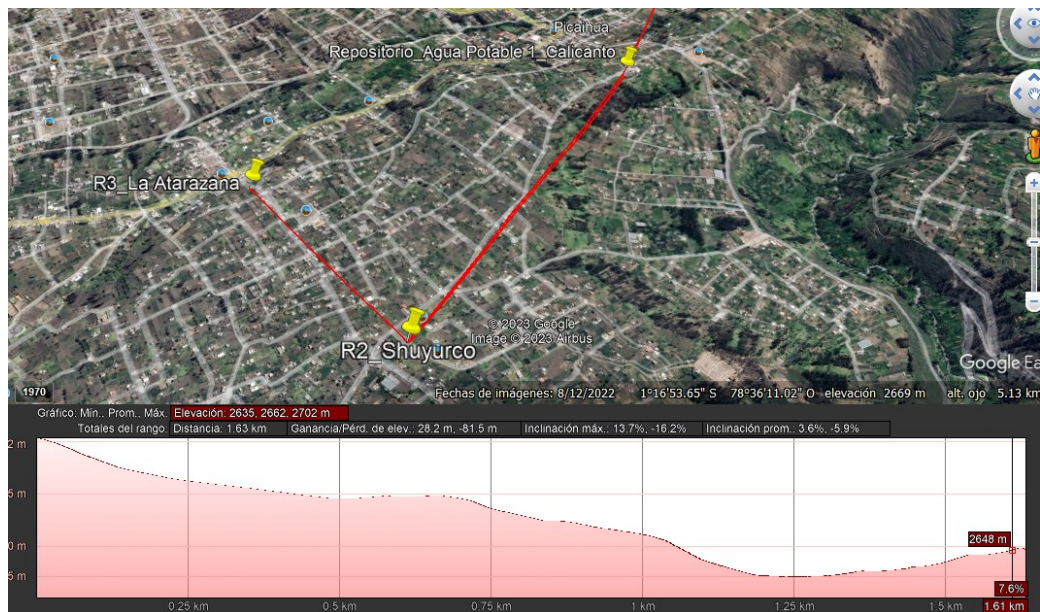




*Anexo 15: Punto de coordenadas y perfil de elevación de cada enlace realizada en Google Earth*

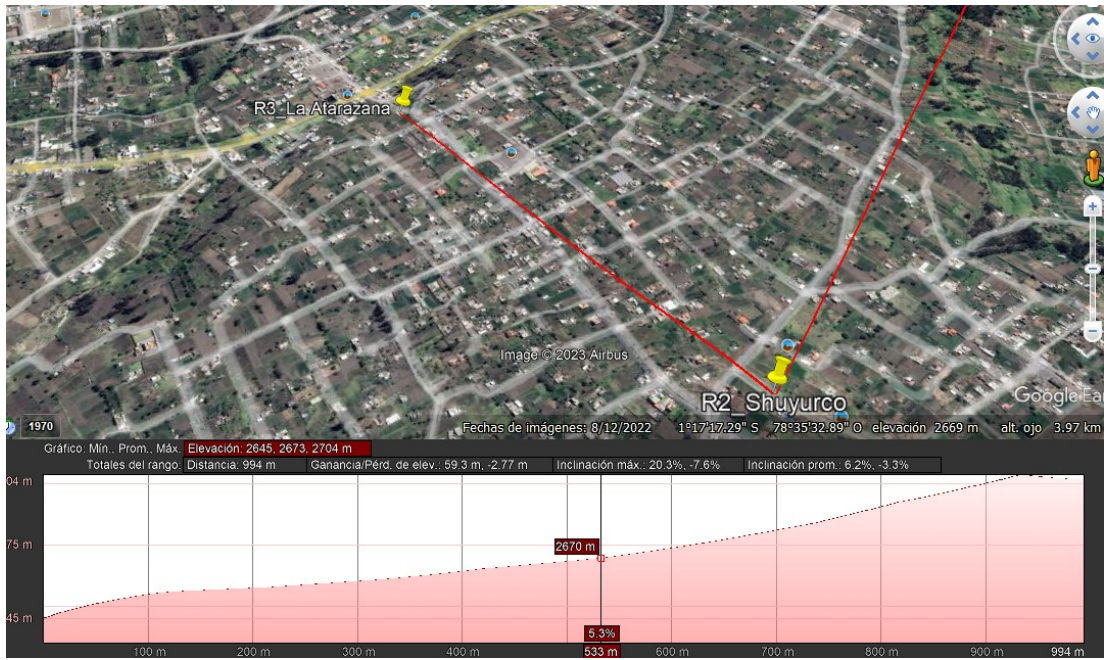


Resultado obtenido entre Sede de Agua Potable y Reservorio (Calicanto)



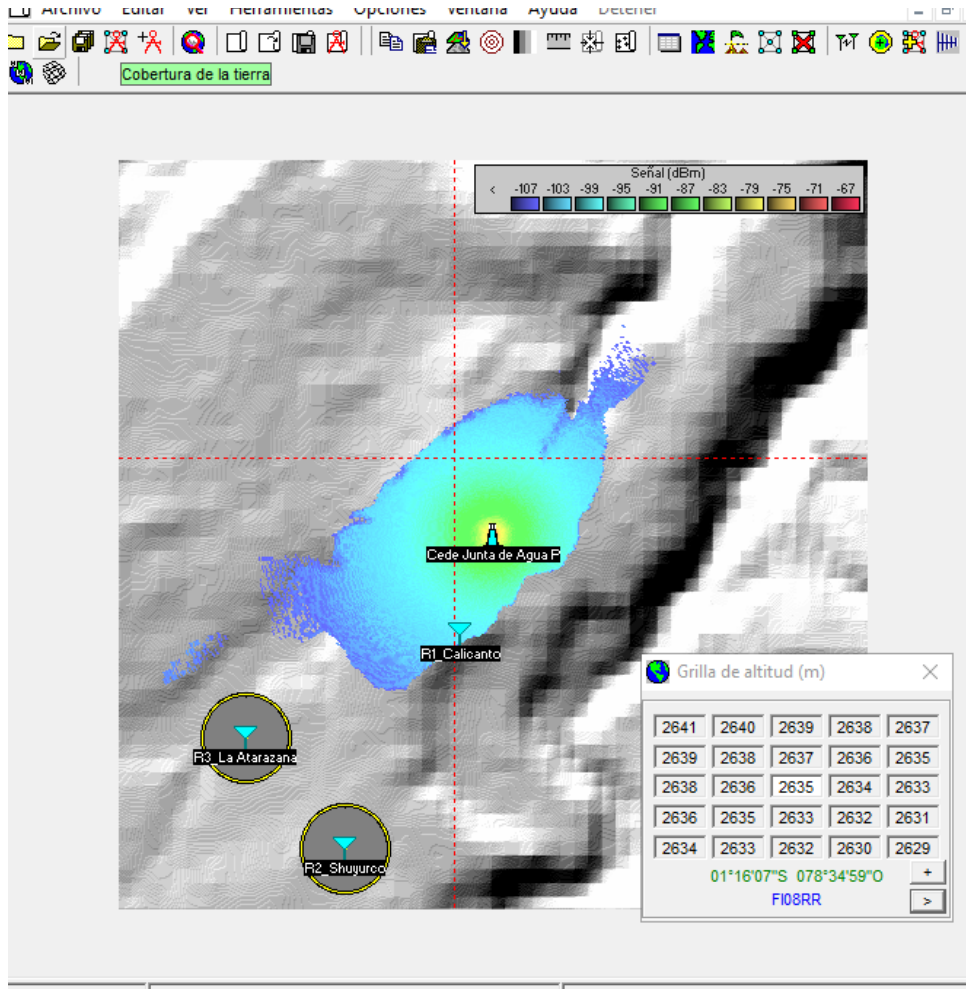
Resultado obtenido entre Reservorio Calicanto y Shuyurco



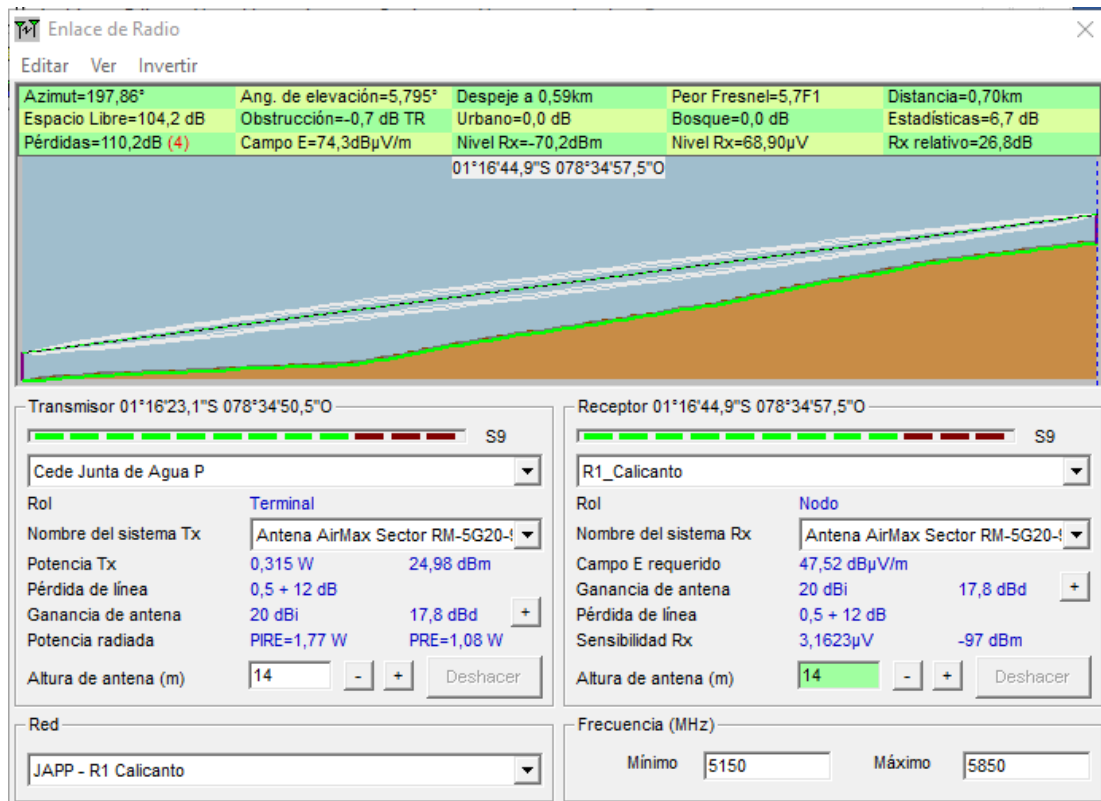


Resultado obtenido entre Reservoirio Shuyurco y Atarazana

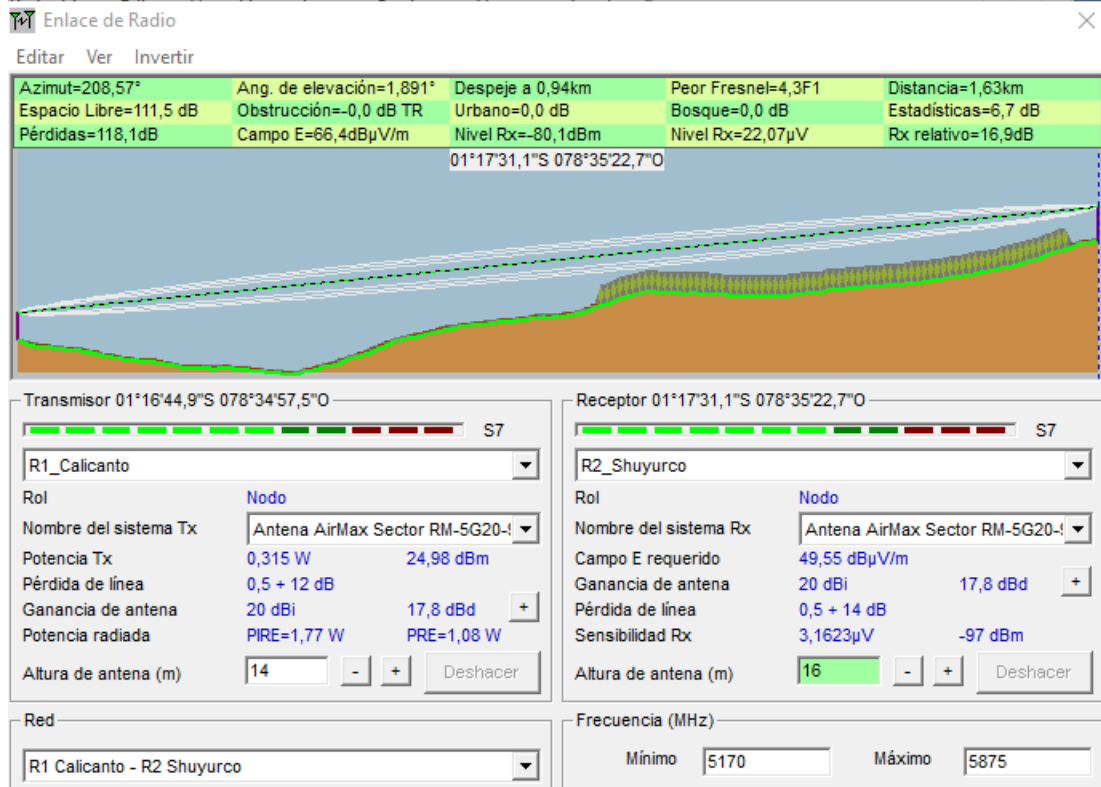
### Anexo 16: Simulación del enlace realizado en Radio Mobile



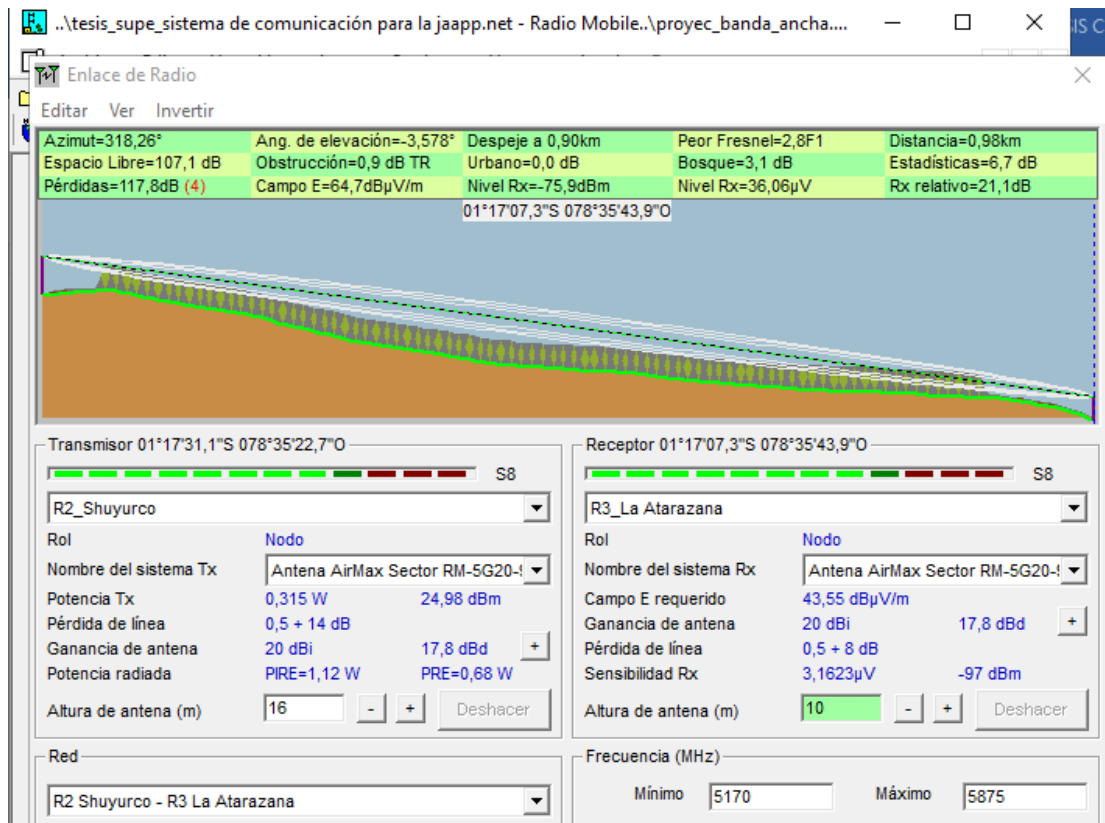
*Anexo 17: Muestra de resultados en el simulador del enlace realizado en Radio Mobile*



Resultados del enlace entre Sede Agua Potable Picaihua – Reservoirio Calicanto



Resultados del enlace entre Reservoirio Calicanto y Shuyurco

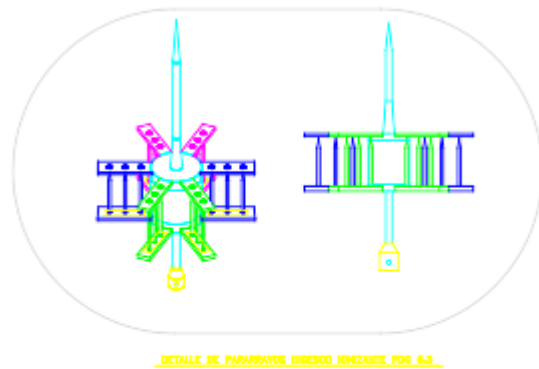
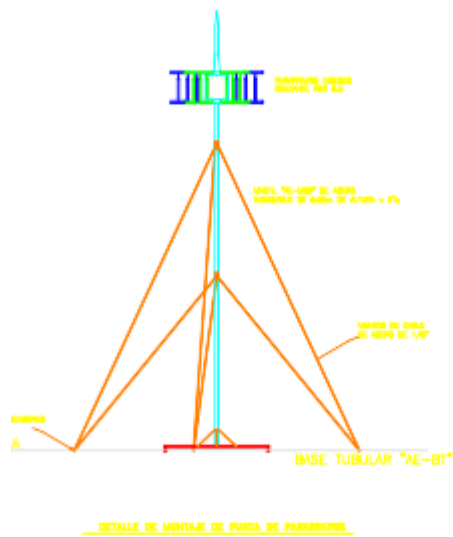


Resultados del enlace entre Reservoir Shuyurco y Atarazana

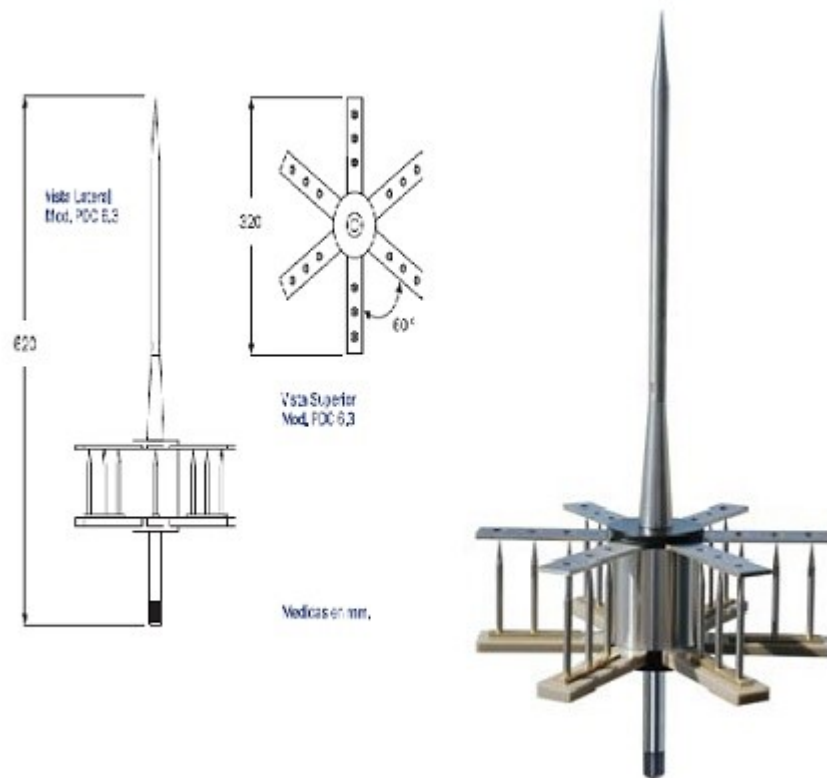
**Anexo 18: Tubo poste**  
Tubo poste galvanizado (6 metros)



**Anexo 19: Pararrayos**  
Montaje de una punta para pararrayos

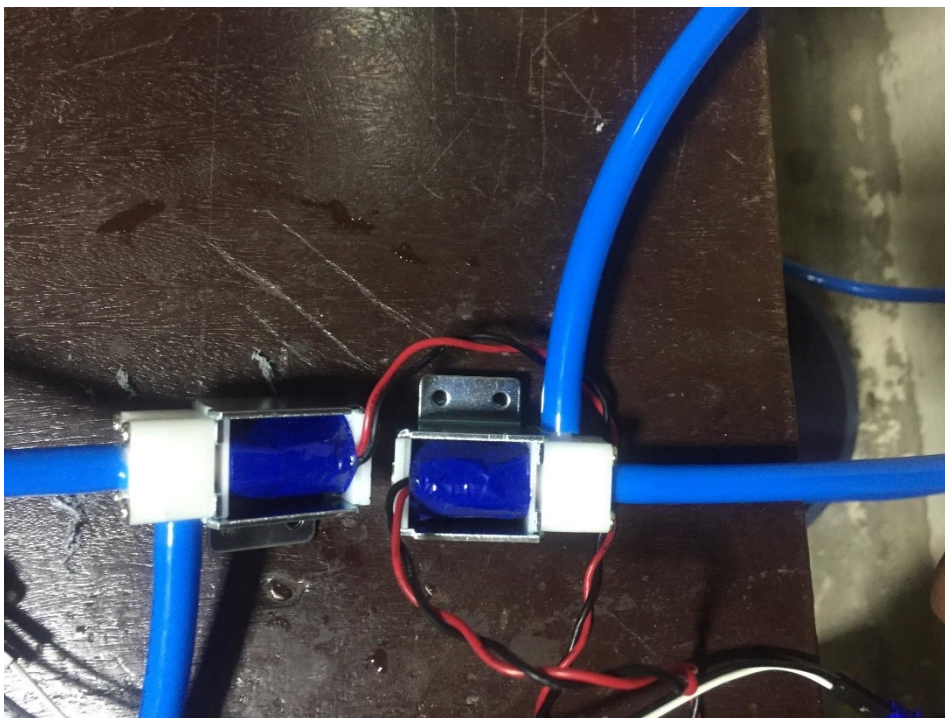




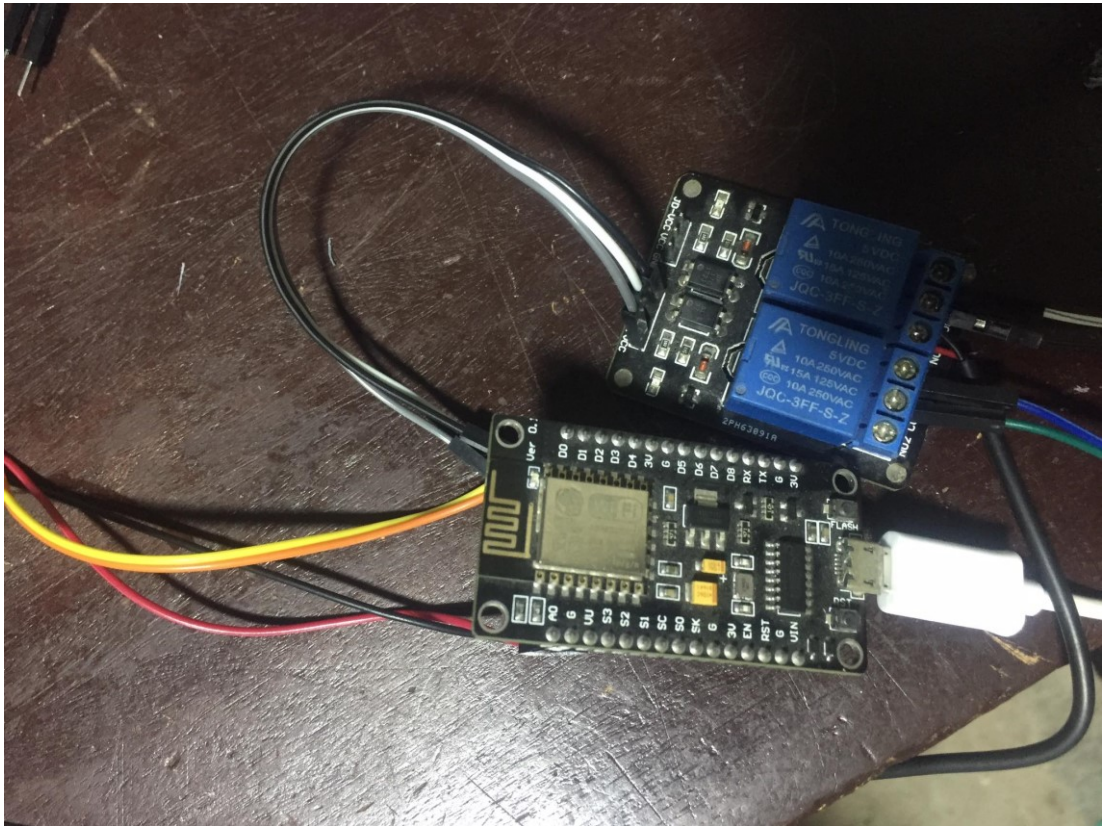


*Anexo 20: Muestra del prototipo*

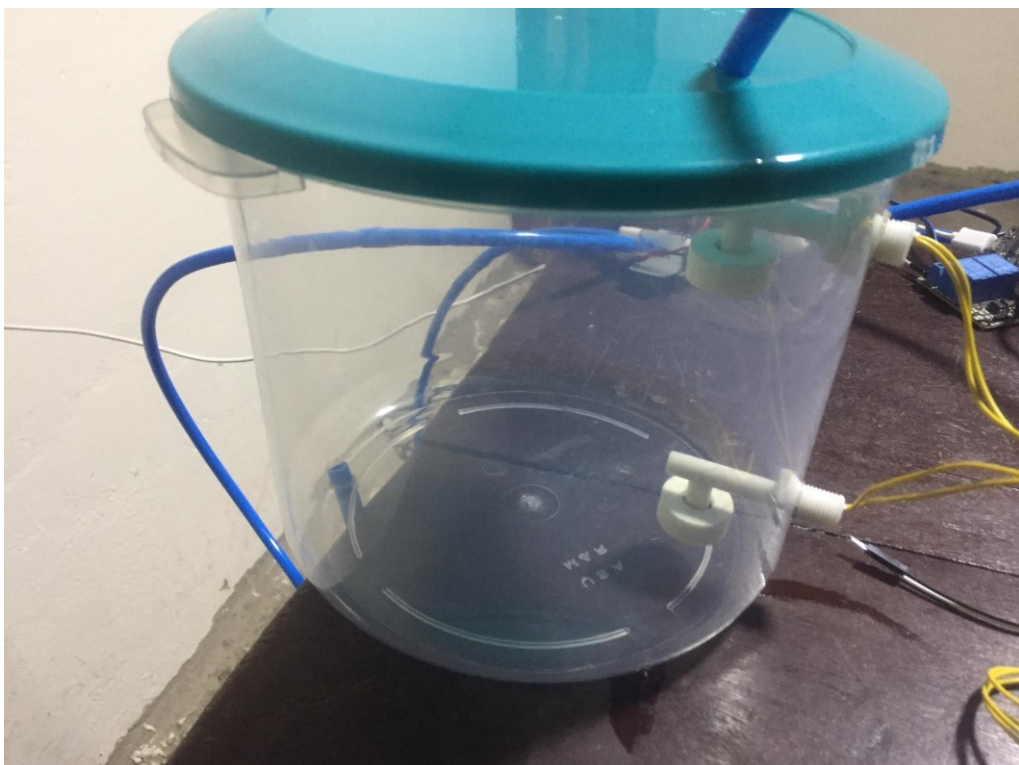
*Conexión de electroválvulas hacia la fuente de voltaje y mangueras*



## Conexión de módulo Reley a electroválvulas y NodeMcu ESP8266



## Montaje de Sensores horizontales tipo L (boya)





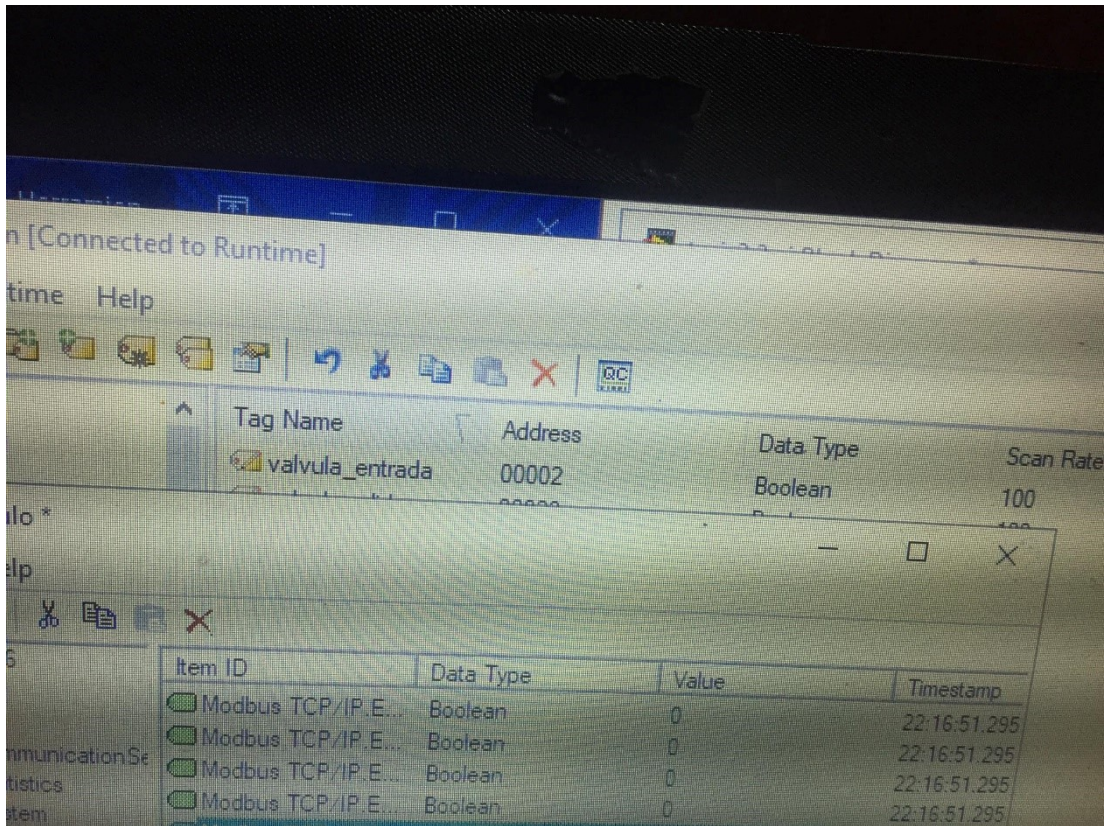
## Funcionamiento del prototipo



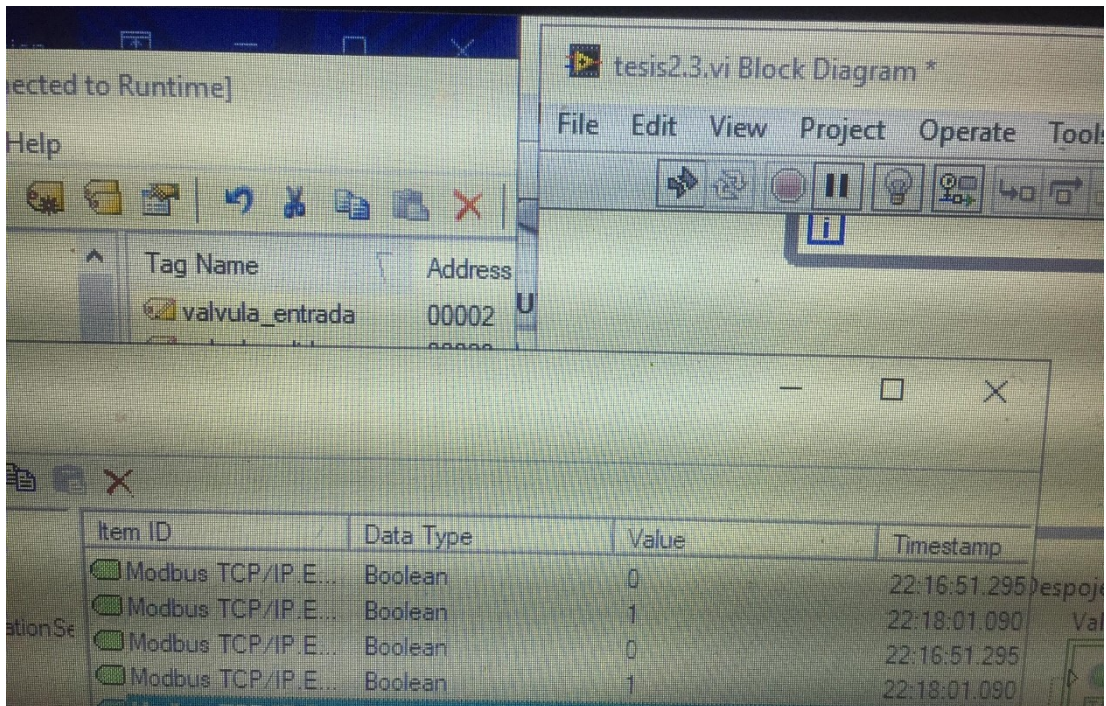


*Anexo 21: Visualización de la interfaz gráfica de los tanques realizada en LabVIEW*

Envío de datos a través de la red



Lectura de los sensores horizontales tipo L (boya)





## Visualización de datos en la interfaz gráfica LabVIEW

