



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RIO INGA A TRAVÉS DE UN ENLACE MICROONDA

Autora

Esthefany Nataly Alvarez Narváez

Año  
2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD  
DE AGUA DEL RIO INGA A TRAVÉS DE UN ENLACE MICROONDA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniera en Electrónica y Redes de la Información

Profesor guía:

MSc. Fausto Francisco Charro Simbaña

Autora:

Esthefany Nataly Alvarez Narváez

Año

2017

## **DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Fausto Francisco Charro Simbaña  
Master Universitario en Ingeniería de Sistemas Electrónicos  
CI: 1712038734

## **DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR**

“Declaro haber revisado este trabajo, a través de reuniones periódicas con la estudiante, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

David Fernando Pozo Espín  
Master Universitario en Automática y Robótica  
CI: 1717340143

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Esthefany Nataly Alvarez Narváez

CI: 1716183007

## AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento más grato a la Universidad de las Américas y todos sus docentes que, con su dedicación me han transmitido sus conocimientos para consolidarme como persona y en la vida profesional.

## DEDICATORIA

A Dios por estar conmigo e iluminar cada paso de mi vida, y fortalecerme para lograr mis objetivos.

A mis padres por su incondicional apoyo y cariño que me han brindado siempre, y han sido mi inspiración en la vida. A mis hermanos por acompañarme constantemente.

A mis familiares y todos quienes de una u otra forma me apoyaron durante mi carrera.

## RESUMEN

El cuidado con el medio ambiente es uno de los temas de actualidad que causan gran impacto en la población a nivel mundial. Dentro de este contexto el control sobre la calidad de agua es uno de los argumentos más discutidos, debido a que su importancia radica en todo aquel que la consume o utiliza. De esta forma la calidad del agua a la que las personas tienen acceso, debería ser optima y libre de cualquier factor que pueda hacer que el líquido vital no sea apto para el uso que se requiera.

El río Inga ubicado en la parroquia de Tumbaco se encuentra situado cerca del relleno sanitario El Inga, el cual desecha el agua residual obtenida del tratamiento de lixiviados a dicho afluente. Sin embargo muchos pobladores aledaños al río no están contentos con las características del agua después de que el relleno iniciara sus funciones.

Este trabajo de titulación propone realizar el diseño de un sistema de transmisión inalámbrico que permita el monitoreo de distintos parámetros de calidad de agua del río Inga, con la finalidad de obtener datos precisos de forma rápida y eficaz sobre el estado del afluente. Conjuntamente se propone construir un prototipo didáctico que permitirá demostrar de forma sencilla el funcionamiento del diseño mencionado.

La solución planteada requiere de la utilización de un sensor que mida diferentes parámetros de la calidad de agua tales como potencial de hidrogeno (pH), turbidez, conductividad, entre otros. Posteriormente estos datos son procesados en una placa computador y enviados de forma inalámbrica a una estación de monitoreo a través de equipos que utilizan la tecnología de comunicación Wireless Fidelity (WiFi). Finalmente se muestra esta información mediante una interfaz en el computador, y se guardan los datos en una hoja de Excel. La fabricación del prototipo enseñará de forma didáctica la funcionalidad del diseño, utilizando un solo sensor (turbidez), y módulos de transmisión por radiofrecuencia para el envío de datos.



## **ABSTRACT**

The environment caring is one of the current issues that have a great impact on the worldwide population. In this context control over water quality is one of the most discussed arguments, since its importance lies in everyone who consumes or uses it. In this way the quality of the water to which all people have access should be optimum and free of any factor that can make the vital liquid not suitable for its use.

The Inga river located in Tumbaco parish is situated near the garbage dump El Inga, which throw-outs the treated wastewater to the river. However many people near the river are not content with the characteristics of the river water after the dump began its functions.

This investigation work proposes the design of a wireless transmission system that allows the monitoring of different water quality parameters of the river Inga, in order to know the state of water quickly and efficiently. Jointly, it is proposed to construct a didactic prototype that will allow demonstrating in a simple way the operation of the mentioned design.

The design is proposed using a sensor that measures different water quality parameters such as pH, turbidity, conductivity, etc. This data is processed in a microcontroller and then sent wirelessly to a monitoring station located in the landfill. Finally this information is displayed through an interface in the computer, and the data is saved in an Excel sheet. The prototype basically performs the same function in scale and in a didactic way, using one sensor (turbidity) and radiofrequency transmission modules for sending data. The final functionality of the prototype can be seen in a scale model.

# ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Alcance.....	2
1.3 Justificación .....	3
1.4 Objetivo general.....	3
1.5 Objetivos específicos .....	4
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Componente ambiental.....	4
2.1.1 Calidad de agua.....	4
2.1.2 Monitoreo de calidad de agua.....	5
2.1.3 Parámetros de calidad de agua .....	6
2.1.4 Sector el Inga.....	10
2.1.4.1 Comunidad .....	11
2.1.4.2 Relleno sanitario el Inga .....	11
2.1.4.3 Río Inga.....	12
2.2 Componente técnico.....	13
2.2.1 Sensores de parámetros de calidad de agua.....	13
2.2.2 Sensor pH.....	13
2.2.3 Sensor temperatura .....	14
2.2.4 Sensor oxígeno disuelto.....	15
2.2.5 Sensor turbidez.....	16
2.2.6 Sensor de conductividad.....	18
2.2.7 Comunicaciones inalámbricas .....	19
2.2.7.1 Redes microondas.....	20
2.2.7.2 Redes WiFi.....	21

2.2.8	Placas computadoras y entornos de desarrollo .....	22
2.2.8.1	Arduino .....	22
2.2.8.2	Raspberry Pi.....	23
2.2.8.3	Gumstix .....	24
2.2.9	Visual Basic .....	24
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III. DESARROLLO DISEÑO Y PROTOTIPO.....</b>	<b>25</b>
3.1	Diseño esquemático general.....	25
3.1.1	Adquisición de datos .....	27
3.1.1.1	Sensor .....	27
3.1.1.2	Placa computador.....	28
3.1.1.3	Ubicación adquisición de datos .....	29
3.1.2	Transmisión de datos.....	29
3.1.2.1	Estaciones base .....	29
3.1.2.2	Antena .....	33
3.1.2.3	Ubicación transmisión de datos.....	35
3.1.2.4	Cálculo de distancia entre las dos estaciones.....	37
3.1.2.5	Conexiones para la transmisión .....	37
3.1.2.6	Conexiones para la recepción .....	40
3.1.2.7	Cálculo de atenuación por cable coaxial y conectores .....	40
3.1.2.8	Pérdida en espacio libre .....	42
3.1.2.9	Potencia recibida .....	42
3.1.3	Recepción e interpretación de datos en la estación base.....	45
3.1.3.1	Interpretación de datos.....	45
3.2	Prototipo diagrama general.....	45
3.2.1	Adquisición de datos .....	46
3.2.1.1	Sensor de turbidez .....	46
3.2.1.2	Lectura de datos en Arduino .....	47
3.2.2	Transmisión de datos.....	47
3.2.3	Recepción e interpretación de datos.....	50

3.2.4	Análisis de pruebas y resultados .....	52
3.2.4.1	Calibración de sensor.....	52
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
4.1	Conclusiones.....	57
4.2	Recomendaciones.....	59
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>

## 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La gestión de agua y su saneamiento en áreas urbanas y rurales ha cobrado una importancia creciente en América Latina en los últimos años. Actualmente en el país existen proyectos orientados al monitoreo constante y saneamiento de ríos principales tal como el río Guayas, en el cual se ha obtenido logros significativos en cuanto a la descontaminación y cumplimiento de normas. Estos proyectos han logrado la reintegración de los ríos a las comunidades, devolviéndoles a las mismas esta agua que puede ser utilizada para diferentes actividades.

El monitoreo de calidad del agua en ríos es fundamental para acatar las reglas medio- ambientales y por sobre todo proteger el recurso hídrico y así poder aportar el líquido vital a comunidades marginadas o lejanas a zonas urbanas que utilizan el agua proveniente de afluentes naturales para usos como el riego o consumo diario.

En Quito no existen sistemas de monitoreo en tiempo real con los cuales se pueda determinar el nivel de contaminación de un río de forma automática, la Secretaria de Ambiente de Quito realiza este proceso tomando muestras de forma manual y después son llevadas a un laboratorio para su investigación.

Hoy en día el uso de sensores ha facilitado el proceso de determinación de datos de algunos fenómenos. Indudablemente existen sensores que ayudan a determinar el comportamiento y las variaciones en el ambiente, como el nivel de radiación ultravioleta o nivel de contaminación de aire. Con esto se puede cuantificar los parámetros obtenidos para realizar un monitoreo constante y determinar futuros comportamientos.

Este tipo de sensores tienen numerosas aplicaciones en hidrología, caracterización de acuíferos, geología, oceanografía, entre otras áreas que

requieren de monitorización continua para evaluar medidas como niveles de amonio, cloro y nitrato.

La Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, publicó un artículo donde un grupo de estudiantes pertenecientes a la Universidad Autónoma Chapingo México efectuaron el monitoreo de las propiedades del agua del río Texcoco utilizando sensores selectivos de iones. “La calidad del agua de un río cambia en el espacio y en el tiempo; los desperdicios varían en cada descarga, siendo necesario analizar la calidad del agua continuamente” (Guerra A., s.f.)

Este proyecto tenía como objetivo analizar la calidad del agua del río Texcoco, en diez puntos con sensores, y comparar los resultados obtenidos con muestras analizadas en un laboratorio. El artículo se centra principalmente en contrastar los resultados adquiridos.

## **1.2 Alcance**

Diseñar un sistema electrónico de monitoreo de contaminación del agua del río Inga que obtenga datos de parámetros de calidad del agua y se demuestre su funcionamiento a través de un prototipo didáctico a escala.

El diseño propone recoger los datos enviados por el sensor en una tarjeta de adquisición de datos. Este módulo servirá para encapsular los datos y enviarlos a un sistema de transmisión.

Se utilizará un sistema inalámbrico con equipos que operan en banda no licenciada para la transmisión de datos hacia la central. En esta central de monitoreo estará ubicada la antena de recepción, y finalmente se envía la información a una computadora para que nos muestre los resultados en una aplicación sencilla.

La ubicación de cada elemento se debe proponer en base al levantamiento de la información en campo para determinar puntos con línea de vista directa y evitar obstrucciones en la etapa de transmisión de datos.

Para mostrar el funcionamiento del sistema, se construirá una maqueta que servirá únicamente como modelo demostrativo. Cabe recalcar que con un solo sensor no se puede determinar la calidad del agua.

### **1.3 Justificación**

Cerca del río Inga está ubicado un depósito de basura el mismo que causa contaminación en el río. Después de generar presión y compactar los desechos del depósito, estos se descomponen y generan un líquido llamado lixiviado. Este líquido tiene una alta carga contaminante y la regularización de su manejo es importante. La norma ambiental exige tratar este líquido antes de verterlo por el río.

Según medios de comunicación los habitantes aledaños a este río han presentado quejas sobre la calidad del agua y la alta contaminación del mismo. Ellos aseguran que no es posible dar de beber del río a sus animales debido a que el agua es espesa y oscura. Las aguas de ese río también se utilizan para riego en sembríos y para potabilizarla.

Además del fuerte impacto ambiental que esto conlleva, hay una clara y directa afectación a los pobladores de comunidades cercanas al afluente. Este proyecto propone diseñar un sistema con el que se pueda llevar el control de la contaminación del agua del río Inga.

### **1.4 Objetivo general**

Diseñar un sistema electrónico de monitoreo de contaminación del agua del río Inga que obtenga datos de parámetros de calidad del agua y se demuestre su

funcionamiento a través de un prototipo didáctico a escala.

### **1.5 Objetivos específicos**

Analizar la problemática actual del río Inga y establecer sus fuentes de contaminación principales.

Diseñar un sistema electrónico de monitoreo del río Inga, que permita obtener datos históricos de los parámetros de calidad del agua más comunes.

Construir un prototipo didáctico que permita monitorear un parámetro de calidad del agua (turbidez) utilizando un entorno de programación comercial.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Componente ambiental**

En esta sección se expondrá la situación actual del río, su factor contaminante y términos generales sobre la calidad de agua.

#### **2.1.1 Calidad de agua**

“La calidad de agua es una medida de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sistemas acuáticos.” (INEC, 2015). El criterio de la calidad del agua obedece a la utilización que se le va a dar, esto implica que su empleo no habría de causar daño, por lo tanto debe estar exenta de sustancias o microorganismos perjudiciales.

El agua del río Inga se usa principalmente para actividades agrícolas y para el consumo de animales por lo que su nivel de calidad debe ser apto para estas actividades.

El agua residual está conformada por diferentes tipos de basura tanto humanos como de animales. Habitualmente esta agua es desechada a través de



alcantarillas a ríos o mares, produciendo un importante impacto al medio ambiente.

Es por eso que es importante la vigilancia y tratamiento de la misma para reducir el impacto en la naturaleza. Actualmente la mayoría de empresas tienen una planta de tratamientos de aguas residuales con el fin de desinfectarla antes de depositarla en el alcantarillado.

### **2.1.2 Monitoreo de calidad de agua**

Existen varias razones trascendentales que justifican el monitoreo de calidad de agua entre las cuales se puede destacar el cumplimiento de metas sociales como la protección de la salud humana y animal y la defensa en otros usos del agua como la agricultura. También se puede mencionar el apoyo al cumplimiento de normativas y mejoramiento de estudios científicos.

Otro de los motivos para la recopilación de datos de calidad de agua es, “la definición de problemas existentes y emergentes como periodos de ocurrencia, extensión geográfica y gravedad.” (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 1992, pág. 189). En la figura 1 se puede ver personas recolectando datos de un río ubicado en Perú.



*Figura 1.* Monitoreo de calidad de agua.  
Tomado de Ministerio de agricultura y riego Peru, 2016

### **2.1.3 Parámetros de calidad de agua**

La temperatura, conductividad, turbidez y pH son unos de los principales parámetros de la calidad de agua las cuales se pueden evaluar de modo fácil y establecen una manera de catalogar posibles causas de contaminación para la salud de un sistema acuático.

Otras medidas que ayudan a la caracterización del agua y a determinar posibles impactos son los nutrientes, sólidos disueltos, agentes patógenos y compuestos orgánicos. (INEC, 2015)

La calidad de agua para riego afecta el rendimiento de los cultivos así como las condiciones físicas del suelo, consecuentemente es importante realizar una evaluación del agua antes de elegir una fuente del mismo para la utilización en plantas.

Al igual que para la agricultura, controlar la calidad de agua para consumo animal es importante debido a que la ingesta inadecuada puede representar un peligro para los animales.

Las aguas con elevado tenor salino así como aquellas con elementos tóxicos pueden afectar la calidad de la carne o leche hasta el punto de hacerlas inadecuadas para el consumo humano o pudiendo producir mortandad en animales.

A continuación se describen algunos de los parámetros principales de la calidad de agua

- Temperatura:

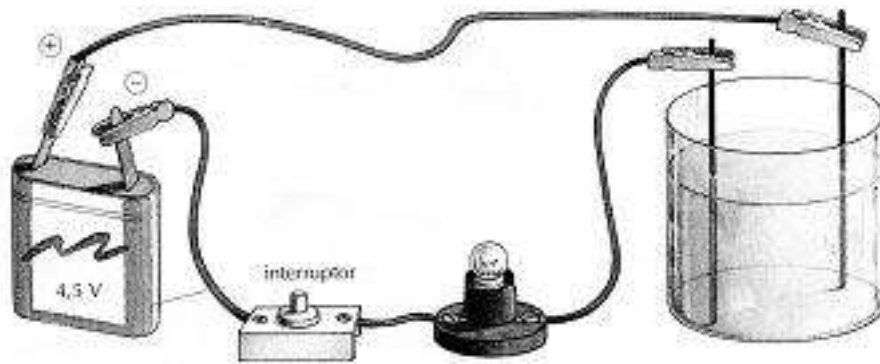
“Es un parámetro que revela si existe un contraste o gradiente de energía que provoca la transferencia de calor.” (UPRM, s.f.). La vida acuática se podría ver afectada por la temperatura del agua. La temperatura también influye en el tratamiento del agua produciendo reacciones químicas o crecimiento de microorganismos indeseados. La siguiente imagen muestra un sensor de temperatura utilizado en un río.



*Figura 2.* Temperatura del agua.  
Tomado de PCE, s.f.

- Conductividad:

Es la capacidad que tiene el agua para transferir electricidad mediante iones. Entre mayor concentración de iones, mayor será la conductividad del agua. El agua pura prácticamente no conduce la electricidad. La figura 3 muestra gráficamente la definición de conductividad.



*Figura 3.* Conductividad del agua.

Tomado de Garcia, s.f.

- Potencial de Hidrógeno (pH):

Es la cantidad de iones de hidrogeno congregados en el agua. Por lo general el pH del agua natural está entre 6 y 8." (Payeras, Parametros de Calidad de las Aguas de Riego, s.f). La siguiente imagen muestra el pH de una muestra de agua y lo compara con un papel de pH.



*Figura 4.* pH del agua.

Tomado de Sanaia, s.f

- Oxígeno disuelto:

El oxígeno disuelto calcula la cantidad de oxígeno en una muestra de agua. Su importancia radica sobretodo en la vida acuática, entre menor concentración de oxígeno mayor es la presión en el agua, esto provocaría la muerte de varias especies acuáticas. Además el oxígeno disuelto afecta a otros indicadores físicos como el olor y color. En términos de suministro de agua, los niveles altos de oxígeno disuelto pueden provocar que las tuberías sufran corrosión de forma acelerada

- Turbidez:

“Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que en general son muy difíciles de filtrar. Se elimina por procesos de coagulación y filtración.”  
(Payeras, s.f.)



*Figura 5.* Turbidez del agua.

Tomado de (Geologicalman, 2015)

La turbidez permite dar una idea de la calidad del agua. Un agua turbia interfiere en el proceso de tratamiento de las aguas como desinfección con agente químicos o radiación ultravioleta, disminuyendo la efectividad de estos lo cual representa un riesgo en el consumidor.

El turbidímetro es la herramienta que se utiliza para medir la turbidez en el agua. Uno de los usos que se le da al turbidímetro, es medir la cantidad de solidos suspendidos en las aguas residuales para luego determinar si se debe verter directamente a ríos o mares, o es necesario realizar primero algún proceso de descontaminación del agua.

#### **2.1.4 Sector el Inga**

Para poder comprender el problema que se da en este sector debido a la contaminación del rio Inga, provocada por el relleno sanitario, es necesario exponer la ubicación actual, situación, e impacto generado sobre la misa.

#### **2.1.4.1 Comunidad**

El Inga se encuentra ubicada a faldas de El Ilaló, entre Tumbaco y Pifo. La comunidad el Inga pertenece a la parroquia de Tumbaco. El gran desarrollo que se ha manifestado en la comunidad se debe a la necesidad de las personas de salir de comunidades pequeñas aledañas a esta, en busca de mayores oportunidades de trabajo. Este crecimiento ha provocado que las autoridades realicen programas que buscan implementar mayor cantidad de servicios básicos y mayores fuentes de trabajo para lograr abastecer a la creciente comunidad.

#### **2.1.4.2 Relleno sanitario el Inga**

El Relleno Sanitario El Inga construido el año 2003 se encuentra ubicado a 40 Km de Quito, al costado occidental de la E-35 en el sector de El Inga Bajo. Hoy en día el Relleno Sanitario El Inga recibe 2 000 toneladas diarias de desechos que son colocados en un hueco llamado cubeto.

Mediante análisis realizado por (Jacome, 2011) se ha llegado a determinar que son 11 barrios afectados por la construcción del Relleno Sanitario entre los cuales cuatro de estos reciben directamente un gran impacto. Estos barrios son: Santa Ana, El Belén, Itulcachi y El Inga Bajo.

Los impactos económicos, culturales, sociales, y ambientales en la población que habita en los alrededores de un relleno sanitario serian fatales si este no toma las medidas de seguridad adecuadas.



### 2.1.4.3 Río Inga



*Figura 6.* Río Inga.

Adaptado de Google Earth, 2017

El río El Inga se ubica en la parroquia Tumbaco y posee una longitud aproximada de 1,982 m, desemboca en el río Chiche. La figura 6 es la vista satelital de dicho río.

Actualmente se considera un sitio con un alto nivel de contaminación producido por los desechos que se procesan en el relleno sanitario. A pesar de que el agua recibe un tratamiento previo, las quejas en el sector persisten. Es así como los pobladores de las comunidades más afectadas han realizado varios reclamos a las autoridades pertinentes por la contaminación que el agua del río. A pesar de que el río es de mediana extensión, el valor para los pobladores de la comunidad es definitivamente importante pues es una de las principales fuentes de riego para las plantaciones y alimentación para animales del sector.



## 2.2 Componente técnico

### 2.2.1 Sensores de parámetros de calidad de agua

Se denomina sensor a un dispositivo que mide valores de características físicas, químicas, mecánicas, entre otras. Los sensores son aparatos que proporcionan una señal eléctrica de salida, a partir de la energía del entorno donde se mide.

Existen sensores que cuantifican fenómenos de todo tipo, indudablemente también hay una gran variedad de sensores que miden distintos parámetros para determinar la calidad del agua. A continuación se expone una breve descripción de sensores que evalúan los principales parámetros de propiedades del agua.

### 2.2.2 Sensor pH



*Figura 7.* Sensores de pH.

Tomado de Calderon, 2013

El principio de medición de los sensores de pH se basa en un electrodo de vidrio el cual aísla dos líquidos con distinta concentración de protones. El electrodo de vidrio cumple la función de medir la presencia de iones de hidrogeno en las sustancias y garantiza una buena precisión en la medida. Los distintos tipos de modelos de sensores de pH se muestran en la figura 7.

La aplicación general del sensor de pH es para mostrar que tan alcalina o ácida es una solución.

### **2.2.3 Sensor temperatura**

La función principal de los sensores de temperatura es transformar las variaciones de temperatura en señales eléctricas para poder ser transmitidas y procesadas por diferentes equipos eléctricos.

Existen 3 tipos de sensores de temperatura. Los termistores cuyo principio es la variación de los semiconductores en función de la temperatura. Los termistores pueden ser de tipo NTC (Negative Temperature Coefficient) y PTC (Positive Temperature Coefficient). Los NTC al aumentar la temperatura en el sensor disminuyen su resistencia, mientras que los PTC al aumentar la temperatura en el sensor aumentan su resistencia.

Otro tipo de sensor de temperatura es el RTD (Resistance Temperature Detector), estos a diferencia de los anteriores utilizan un conductor para determinar la variación de temperatura, el conductor utilizado puede ser cobre, platino o níquel.

El tercer tipo de sensor de temperatura es el termopar o termocupla el cual está compuesto por dos metales cuyo principio es el efecto termoeléctrico el cual transforma el calor en electricidad. Este tipo de sensores es el más utilizado en la industria debido a que su costo es más accesible que los otros. La siguiente imagen muestra distintos tipos de sensores de temperatura.



*Figura 8.* Sensores de temperatura.  
Tomado de Anderson, 2017

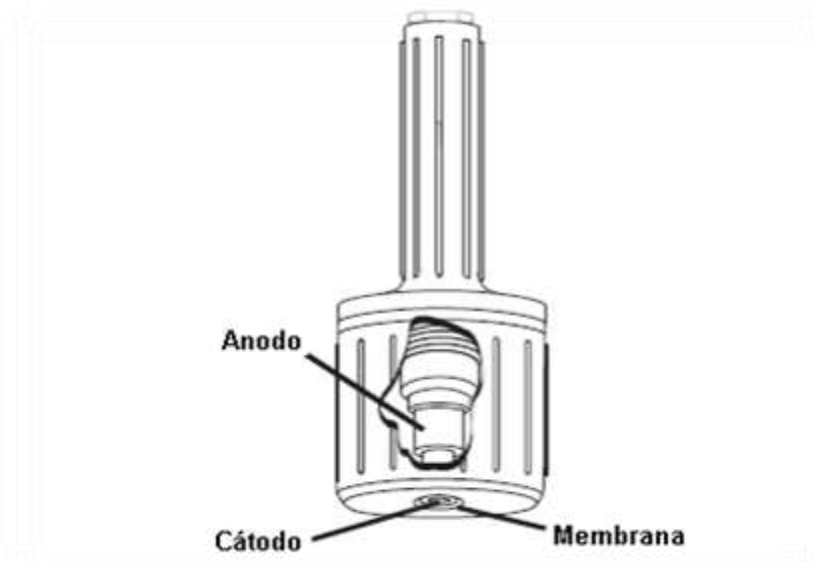
#### 2.2.4 Sensor oxígeno disuelto

Los sensores de oxígeno disuelto son mayormente utilizados para tratamiento de aguas y potabilización del agua. También son utilizados para la elaboración de cerveza, generación de energía eléctrica por vapor y en productos bio-farmacéuticos.

El principal elemento para la medición es un dispositivo electroquímico galvanizado. El objetivo es medir la presión parcial de oxígeno en el agua la cual es proporcional al porcentaje de saturación de oxígeno de agua.

“El sensor consiste de un ánodo de Zinc, un cátodo de Plata y un electrolito (KCl), los cuales están separados del proceso mediante una membrana permeable al Oxígeno. El oxígeno disuelto se difunde a través de la membrana hasta tanto se equiparen las concentraciones a ambos lados de la misma. La salida de señal generada por el transductor es acondicionada mediante una placa electrónica en la cual se genera una salida 4-20 mA proporcional a la

concentración de oxígeno disuelto (0 – 100%).” (TECMES, s.f.). La estructura interna del sensor de oxígeno disuelta se muestra en la figura 9.



*Figura 9.* Sensor de oxígeno disuelto.

Tomado de TECMES, s.f.

### **2.2.5 Sensor turbidez**

“Los turbidímetros miden la intensidad de la luz dispersada a 90° cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez NTU.” (IMAGUA, 2013).

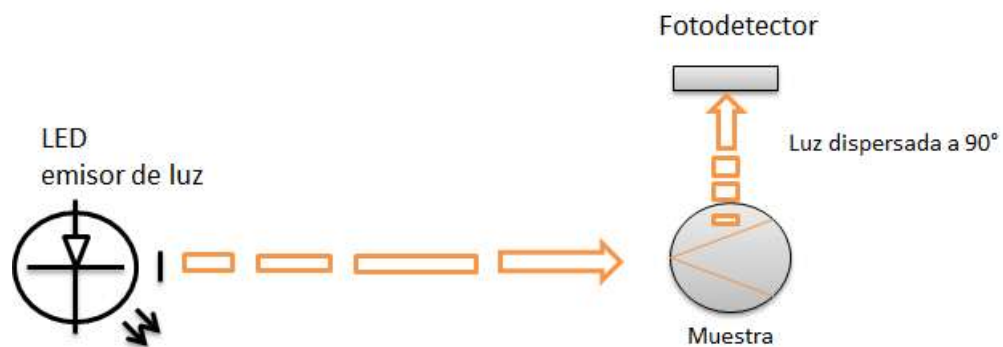
La mayoría de turbidímetros se basan en el método de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos USEPA 180.1. Y generalmente realizan mediciones entre 0 a 100NTU. La figura 10 es uno de los sensores de turbidez más comunes en el mercado, normalmente se utilizan en las lavadores de agua.



*Figura 10.* Sensor de Turbidez.  
Tomado de Electrónica Estudio, s.f.

#### MÉTODO USEPA 180.1

Este método indica: “El método se basa en una comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez” (EPA, 1993). El método también menciona que la ubicación del fotodetector debe estar centrada a 90 grados de la trayectoria de la luz incidente como muestra la siguiente figura:



*Figura 11.* Obtenido de Medición de turbidez de un líquido.  
Tomado de: EPA, 1993

## 2.2.6 Sensor de conductividad



Figura 12. Sensores de conductividad.

Tomado de: *Center for microcomputer applications*, 2015

El sensor de conductividad mide la capacidad de conducir corriente eléctrica entre dos electrodos. Por lo tanto si una sustancia tiene una gran cantidad de iones el sensor mostrará valores más altos de conductividad. En la figura 12 se puede ver distintos modelos de sensores de conductividad.

A continuación, en la Tabla 1 se muestran algunos valores de conductividad de diferentes sustancias.

Tabla 1.

*Conductividad de sustancias*

<b>Muestra</b>	<b>Conductividad(<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>
Agua pura	0.055
Agua destilada	0.5
Agua desionizada	0.1 – 10
Agua de lluvia	20 - 100
Agua para beber	50 - 200
Agua de la llave	100 - 1500
Agua de río	250 - 800
Agua de pantano	1000 - 8000
KCl 0.01 M	1410
MgSO <sub>4</sub>	5810
KCl 0.1 M	12900
Agua de Oceano	53000
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	82600
KCl 1.0 M	112000

Tomado de: *Center for microcomputer applications, 2015*

### 2.2.7 Comunicaciones inalámbricas

Como su nombre lo indica, la comunicación inalámbrica es la que se produce sin ningún medio físico como cables. Este tipo de comunicación se irradia a través de ondas de radiofrecuencia que se propagan por el espacio utilizando una banda definida y comunican dos o más dispositivos.

Tipos de redes inalámbricas según su cobertura:

WPAN (Wireless Personal Area Network): Son redes de comunicación de corto alcance que sirven para comunicar dispositivos que están cercanos al punto de acceso. Generalmente la velocidad de transmisión de datos no requiere ser excesiva. Dentro de esta categoría se puede encontrar tecnologías como Bluetooth e infrarrojo

WLAN (Wireless Local Area Network): La red de área local inalámbrica está definida básicamente por el estándar 802.11 y todas sus variaciones. Estas redes pueden alcanzar una velocidad de 1.3 Gigabits por segundo (Gbps) con la tecnología 802.11ac. Las redes por radiofrecuencia también se consideran redes de tipo LAN.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Network): Este tipo de red se caracteriza por su gran cobertura y banda ancha. Tiene un alcance hasta de cincuenta kilómetros. Ejemplo: redes microondas.

WWAN (Wireless Wide Area Network): Las redes de área extensa tienen el alcance más grande de todas las redes inalámbricas mencionadas anteriormente. Generalmente las redes de telefonía celular y satelital se basan en este tipo de red tales como las tecnologías Global System for Mobile communications (GSM) y Universal Mobile Telecommunications System (UMTS).

A continuación se describen dos tipos de comunicaciones inalámbricas utilizadas para transmitir a distancias medias y aptas para comunicación en áreas rurales.

#### **2.2.7.1 Redes microondas**

Este tipo de redes sirven para transmitir grandes cantidades de datos de forma íntegra a través de dos puntos lejanos. La implementación de este tipo de redes suele tener un costo elevado y no son de uso doméstico. Se puede clasificar en estos dos tipos:

- **Satelitales:** Esta comunicación se realiza a través de dos estaciones base y antenas que direccionan la señal hacia el satélite. La función del satélite es ampliar, corregir y re-direccionar la señal a otras antenas situadas en la tierra.



- Terrestres: Los enlaces microondas terrestres deben estar ubicados de forma que se tenga la mínima cantidad de obstáculos físicos para evitar pérdidas. La lluvia puede causar atenuación de la señal y puede existir interferencia con otras señales. Generalmente los equipos microondas funcionan en bandas licenciadas.

### 2.2.7.2 Redes WiFi

Las redes Wifi admiten la interconexión de varios dispositivos mediante ondas de radio. Se basa en el estándar 802.11, el cual se ha ido desarrollando para mejorar la calidad de conectividad y rendimiento. Estas mejoras se establecen en parámetros como ancho de banda, alcance y la velocidad de trasmisión. Unas de sus principales ventajas son facilidad de instalación, flexibilidad, escalabilidad y permisos para uso múltiple de la red

En la siguiente tabla se mencionan las distintas variaciones del estándar 802.11 y sus principales características.

Tabla 2.

*Variaciones estándar 802.11*

	<b>802.11</b>	<b>802.11a</b>	<b>802.11b</b>	<b>802.11g</b>	<b>802.11n</b>
<b>Velocidad (teórica)</b>	2 Mbit/s	54 Mbit/s	11 Mbit/s	54 Mbit/s	600 Mbit/s
<b>Velocidad (práctica)</b>	1 Mbit/s	22 Mbit/s	6 Mbit/s	22 Mbit/s	100 Mbit/s
<b>Frecuencia</b>	2,4 Ghz	5,4 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz y 5,4 Ghz
<b>Ancho de banda</b>	22 MHz	20 MHz	22 MHz	20 MHz	20/40 MHz
<b>Alcance</b>	330 metros	390 metros	500 metros	500 metros	820 metros
<b>Año de implementación</b>	1997	1999	1999	2003	2009

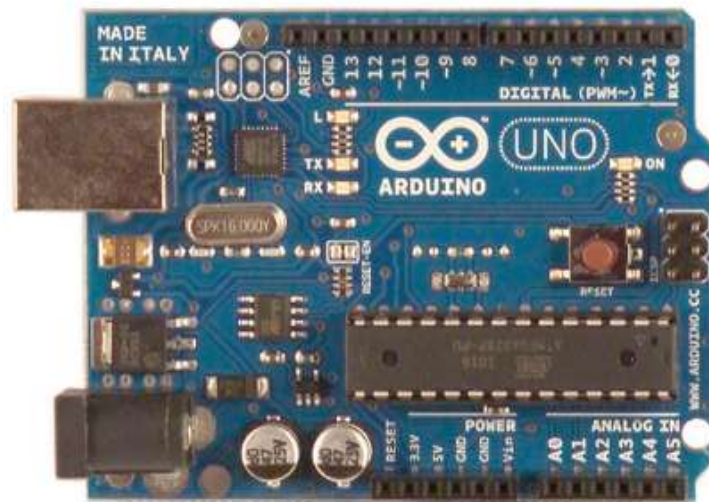
Tomado de: Norfpc, s.f.

## 2.2.8 Placas computadoras y entornos de desarrollo

A continuación se describen diferentes tipos de placas computadoras, sus ventajas y desventajas.

### 2.2.8.1 Arduino

Es una placa computadora circuito impreso con un microcontrolador, Atmel, cuenta con puertos analógicos y digitales que pueden funcionar como entradas salidas según lo programado. La tarjeta Arduino puede alimentarse utilizando el cable Universal Serial Bus (USB), mismo que también funciona para comunicarse con el computador. Unas de las grandes ventajas de esta placa es su bajo costo. La figura a continuación es el modelo UNO de las placas Arduino.



*Figura 13.* Arduino UNO.

Tomado de Arduino StackExchange, s.f.

Es el entorno de desarrollo donde se programan las placas se denomina ARDUINO IDE. Es el entorno de desarrollo donde se programan las placas. Este consiste en un depurador, compilador, un editor de código, y un constructor de interfaz gráfica. Una de las principales ventajas del software de programación

facilidad con la que este se utiliza, pues el lenguaje estándar es C++. Además el software tiene licencia libre y trabaja en distintos sistemas operativos.

### 2.2.8.2 Raspberry Pi

Es una placa desarrollada en el Reino Unido por la empresa con su mismo nombre. Está fabricado con el CPU ARM Cortex-A53. El hardware de Raspberry Pi se ha desarrollado a través de diversas versiones que manifiestan variaciones en la capacidad de memoria y soporte de dispositivos periféricos. Muchas de las funcionalidades que tiene una PC de escritorio ordinaria pueden ser realizadas por esta placa como navegar por internet, procesador de hojas de cálculo, texto y juegos, e incluso permite producir video de alta definición.

El Raspberry Pi utiliza generalmente sistemas operativos GNU/Linux. El entorno de desarrollo de esta placa se llama Raspbian, su software es libre y es de código abierto. El lenguaje de programación se basa en Python. La siguiente imagen muestra un modelo de las placas de Raspberry.

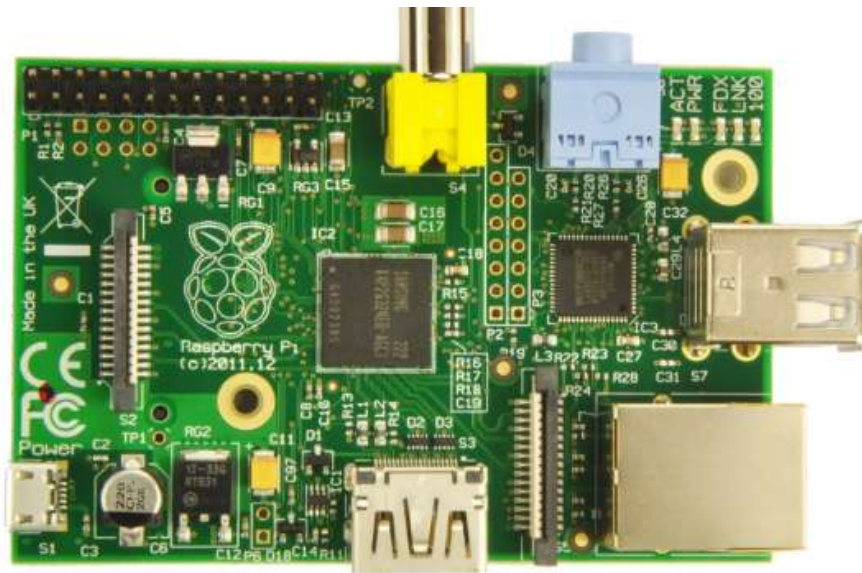


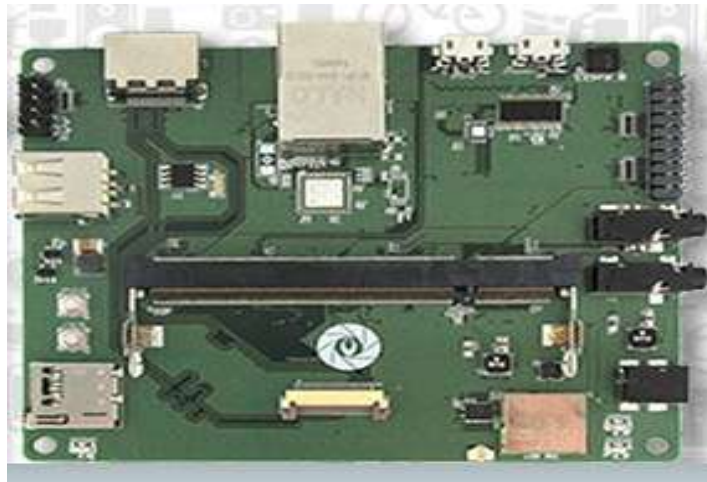
Figura 14. Raspberry Pi modelo B.

Tomado de Raspberry, s.f.

### 2.2.8.3 Gumstix

Esta empresa produce placas computadoras tan pequeñas que su nombre hace referencia y lo compara con una barra de chicle. Estos equipos brindan funcionalidades como la utilización de microSD, interfaces inalámbricas y comunicación serial. Tiene una herramienta en línea llamada Geppetto que permite a los usuarios diseñar sus propias placas.

El software utilizado para la programación de esta placa se basa en Linux. La figura 14 muestra un tipo de placa que fabrica esta empresa.



*Figura 15.* Gumstix Colibri IMX6.

Tomado de Gumtix, s.f.

### 2.2.9 Visual Basic

Visual Basic es un entorno de programación desarrollado por Microsoft. En este entorno un programador puede utilizar una interfaz gráfica de usuario para escoger y modificar secciones de código preseleccionadas escritas en el

lenguaje de programación BASIC. La interfaz de visual basic se muestra en la siguiente imagen.

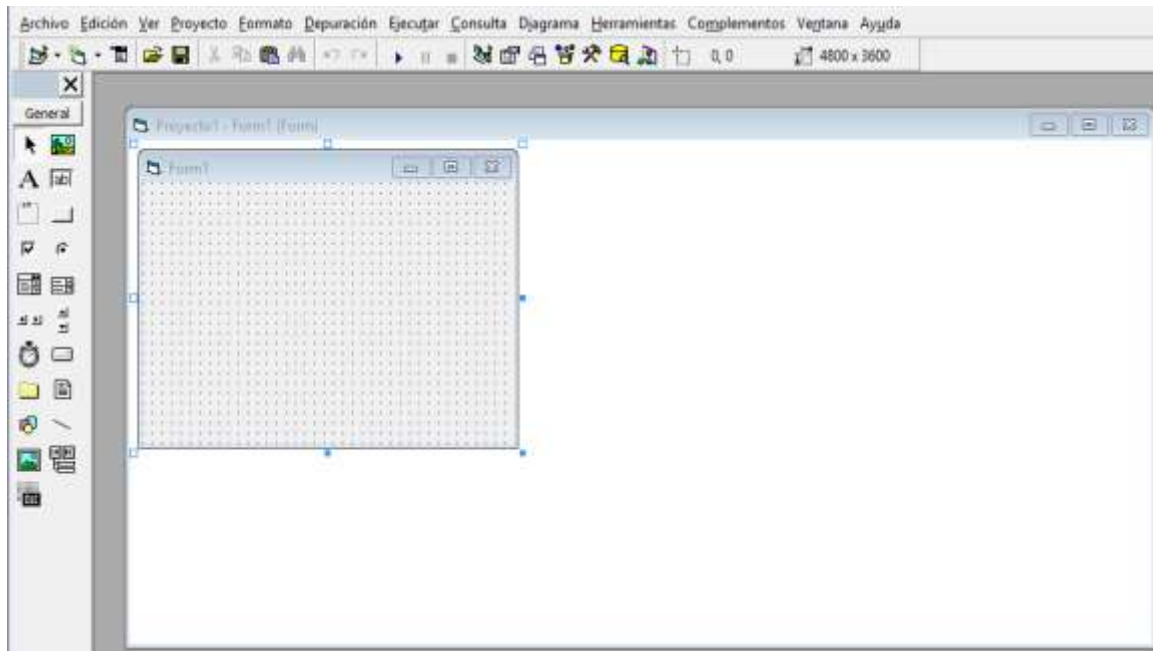


Figura 16. Entorno de programación.

### 3. CAPÍTULO III. DESARROLLO DISEÑO Y PROTOTIPO

#### 3.1 Diseño esquemático general

En esta sección se explicará los equipos utilizados en el diseño, sus principales características, ubicación y cálculos del enlace. La siguiente imagen muestra la distribución general de cada elemento.

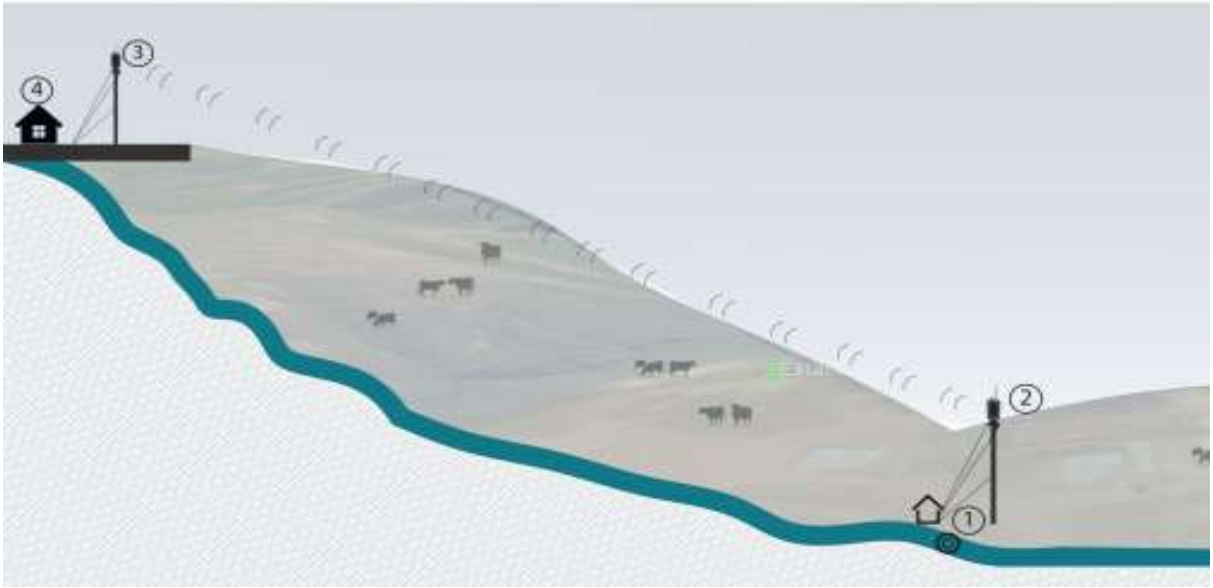


Figura 17. Esquema general de sistema de transmisión.

Para entender de mejor forma de la propuesta de diseño, el esquema general se separa en tres partes como se muestra en la siguiente figura, los cuales serán explicados a continuación.

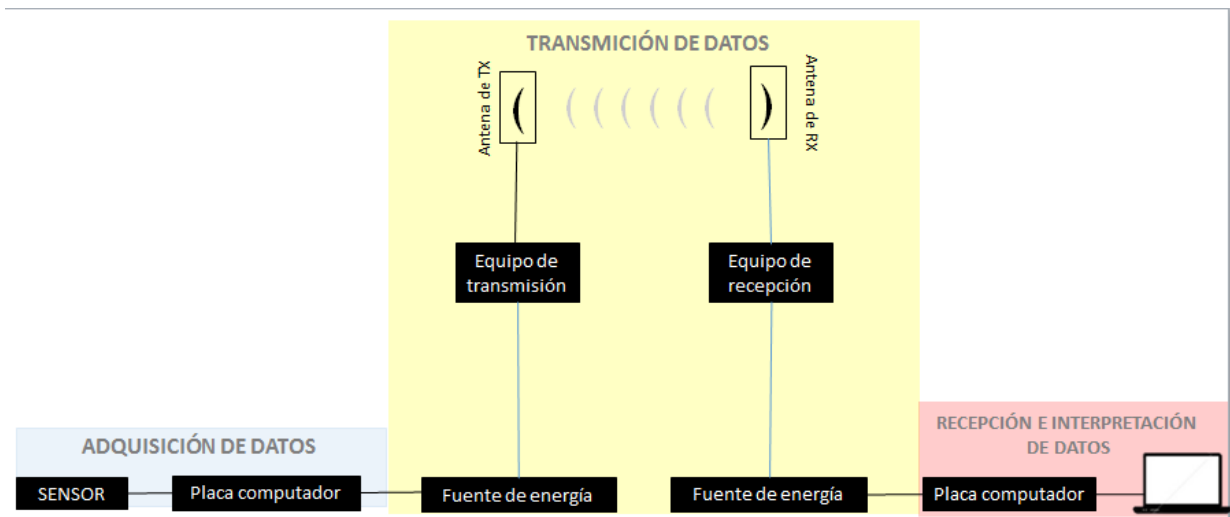


Figura 18. Diagrama de bloques y etapas del diseño.

### 3.1.1 Adquisición de datos

#### 3.1.1.1 Sensor



*Figura 19.* Hydrolab HL4.

Tomado de Hydromet, 2016

Esta sonda que muestra la figura 19 incorpora sensores que permiten la medición de temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto y turbidez,

El sensor se ubica directamente en el agua donde los parámetros van a ser monitoreados. La guía de uso recomienda ubicarlo en un lugar donde se tenga la mínima exposición a la luz externa debido a que uno de sus sensores es óptico (turbidez) y podría interferir en sus mediciones.

También sugiere limpiar los lentes una vez por semana con el fin de mantener lecturas precisas, e incluso se puede disminuir los intervalos de limpieza dependiendo del nivel de desecho en la muestra.

Este es uno de los sensores que ofrecen varios tipos de mediciones en una sola sonda lo que hace que la instalación del mismo sea sencilla sin necesidad de realizar numerosas conexiones. El cable de transmisión de datos del sensor es un USB.

Antes de la primera utilización el sensor debe ser calibrado para que su funcionamiento sea preciso

A continuación se muestra una tabla con datos adicionales sobre el sensor.

Tabla 3.

*Especificaciones sensor*

Energía externa	12 VDC
Energía interna	Batería D-cell
Comunicación	Modulos USB, SDI-12, RS232, RS485, or TTY
Max Profundidad	200 m (656 ft)
Max extensión de cable	200 m (656 ft)
Diámetro	4.4 cm (1.75 in.)
Peso	2.2 kg (5 lb)
Largo	51.4 cm (20.25 in.)
Temperatura de operación	-5 - 50 °C
Temperatura de almacenamiento	1 - 50 °C (34 ... 122 °F)

Tomado de: Hydromet, 2016

### 3.1.1.2 Placa computador

La placa computador que se usaría en este diseño es de la marca Arduino. Como se mencionó en el capítulo anterior esta placa cuenta con varias ventajas como es ser de código abierto, asequible en cuanto costo y es multiplataforma.



Esta placa computador captura los datos del sensor según lo programado y los envía al sistema de transmisión para que sean remitidos a la central de monitoreo. Este dispositivo es suficiente para la cantidad de datos que se le enviará. Además, es de programación práctica gracias al software desarrollado por la misma empresa.

La placa computador deberá tener un puerto USB para recibir datos del sensor, y un puerto RJ45 que se utilizará para el envío de datos a la radio de transmisión.

### **3.1.1.3 Ubicación adquisición de datos**

El sensor se lo dispone en el río a la altura de la primera comunidad cercana en el área de influencia. A continuación se conectaría la placa Arduino misma que estaría conectado al sensor mediante cable USB.

Se recomienda construir una caseta que contendrá a la placa computador y otros elementos que corresponden a la etapa de transmisión de datos los cuales se explicaran más adelante, a una distancia de cinco metros del sensor para evitar pérdidas en la transmisión de datos hacia la placa computador (cable usb). Las pérdidas en esta trayectoria son despreciables pues la longitud propuesta está dentro del rango máximo de despliegue del cable sin tener pérdidas.

## **3.1.2 Transmisión de datos**

### **3.1.2.1 Estaciones base**



*Figura 20.* Ubiquiti Rocket M2.

Tomado de Ubiquiti networks , 2013

Para la transmisión y recepción de datos desde el punto de recolección hacia la central de monitoreo se utilizará la estación base Ubiquiti Rocket M2 (figura 20). Esta estación base está diseñada para el aire libre, por lo que se trata de un equipo bastante resistente.

Se basa en el estándar 802.11g (tecnología WiFi). Brinda un ancho de banda hasta de 54Mbps en el rango de frecuencia de 2.4GHz.

La potencia de la estación base puede ser modificada según lo detalla la siguiente tabla

Tabla 4.

*Especificaciones de potencia de las estaciones base TX Y RX*

Especificaciones de Potencia de Transmisión	Especificaciones de Potencias de Recepción
---	--

Tasa de datos	P TX	Tolerancia	Tasa de datos	P RX	Tolerancia
1 - 24 Mbps	28 dBm	± 2 dB	1 - 24 Mbps	-97 dBm Min.	± 2 dB
36 Mbps	26 dBm	± 2 dB	36 Mbps	-80 dBm	± 2 dB
48 Mbps	25 dBm	± 2 dB	48 Mbps	-77 dBm	± 2 dB
54 Mbps	24 dB	± 2 dB	54 Mbps	-75 dBm	± 2 dB

Tomado de: Ubiquiti Networks, 2015

Para el diseño se usa la máxima velocidad de transmisión por lo tanto la potencia de transmisión es 24 dB.

El equipo envía los datos a través de la trama estándar del 802.11. La siguiente imagen muestra el formato de la trama mencionada y una breve descripción de la misma.

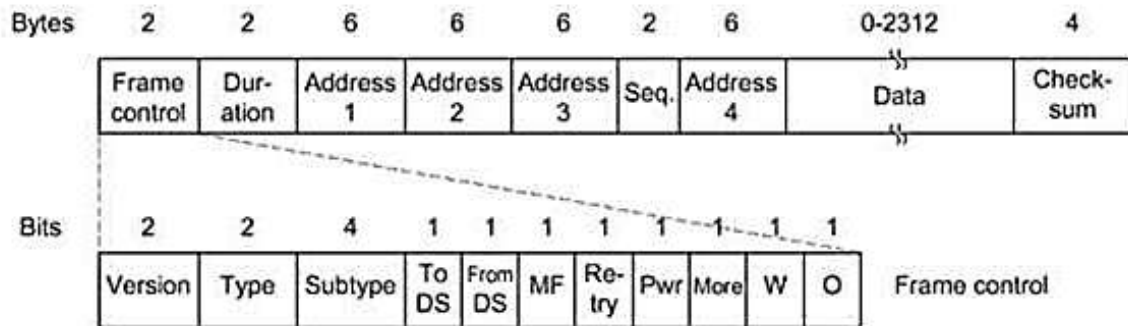


Figura 21. Trama 802.11.

Tomado de: (Garcia A., 2012)

La modulación de señal con la que trabaja el equipo es la OFDM. En este tipo de modulación un único flujo de datos se divide a través de varios canales separados de banda estrecha a diferentes frecuencias para reducir la interferencia y aprovechar el ancho de banda. La figura 22 muestra este tipo de modulación.

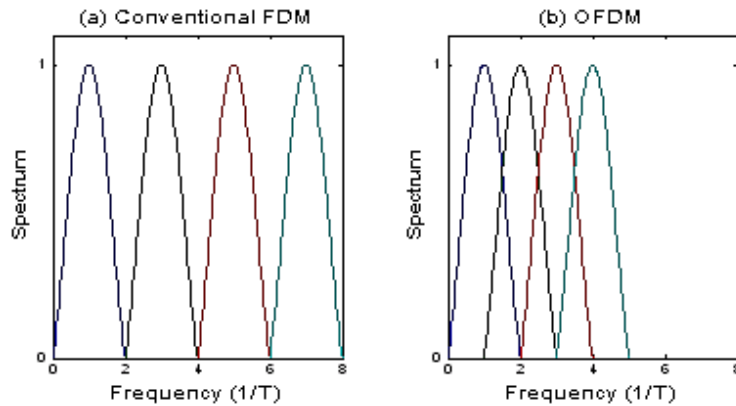


Figura 22. Modulación OFDM.

Tomado de Romero Varga, s.f.

La siguiente tabla detalla algunas características adicionales de la estación base:

Tabla 5.

*Especificaciones de potencia de las estaciones base TX Y RX*

Dimensiones	160 x 80 x 30 mm
Peso	500 gramos
Puerto	10/100 Ethernet
Conector de RF	RP-SMA (A prueba de agua)
Recubrimiento	Recubrimiento externo de plástico UV

Máximo Consumo de Energía	6.5 W
Fuente de Poder	PoE de 24v, 1A
Certificaciones	CE, FCC, IC
Temperatura de Operación	-30 a 75° C
Humedad de Operación	5 a 95 %
Banda de Operación	2402 – 2462 MHz

Tomado de: Ubiquiti networks , 2013

### 3.1.2.2 Antena

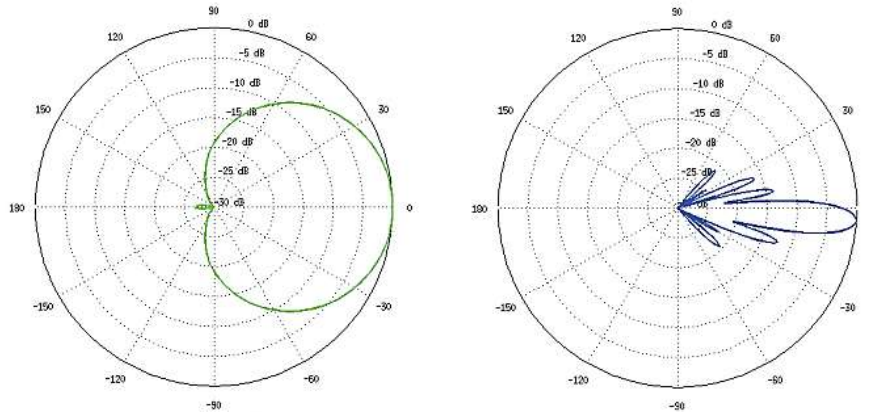


*Figura 23.* Antena AM-2G16-90.

Tomado de Ubiquiti networks , 2013

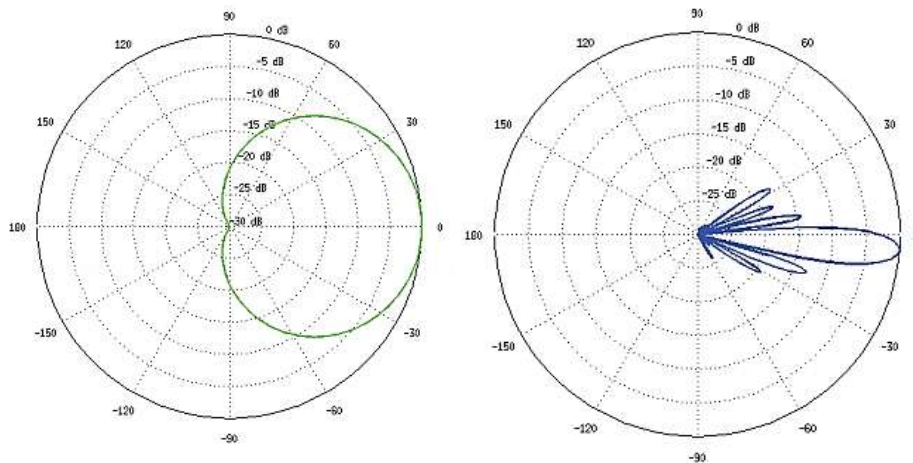
Para este diseño se propone utilizar el modelo AM-2G16-90 (figura 23) de la marca Ubiquiti. Está diseñada para trabajar especialmente con la estación base que se menciona anteriormente. Esta antena es sectorial trabaja en un rango de 2.3 a 2.7 GHz al igual que la estación base y su ganancia es de 16 dBi.

En las siguientes imágenes se puede ver los lóbulos de radiación de la antena.



*Figura 24.* Azimuth y elevación vertical.

Tomado de: Ubiquiti networks , 2013



*Figura 25.* Azimuth y elevación horizontal.

Tomado de: Ubiquiti networks , 2013

Como se puede ver en las imágenes, el patrón de radiación de la antena es directivo, por lo tanto impide la radiación en otras direcciones en lo posible. El lóbulo principal de radiación se encuentra mayormente concentrado en una sola dirección.

A continuación se muestra una tabla con otros datos sobre la antena

Tabla 6.

*Especificaciones antena*

Rango de Frecuencia	2.3-2.7 GHz
Ganancia	16.0-17.0dBi
Polarización	Dual Lineal
Max VSWR	1.5:1
Apertura	90°
Dimensiones	700x145x79mm
Peso	3.9kg
Resistencia al viento	250 kmph

Tomado de Ubiquiti networks , 2013

### 3.1.2.3 Ubicación transmisión de datos

La estación de transmisión de datos se ubica en la caseta mencionada en adquisición de datos. Después de realizar el levantamiento de información en campo se determinó que la central de monitoreo podría ser ubicada en el mismo relleno sanitario con el fin de que ellos puedan monitorear los niveles de los distintos parámetros de calidad de agua y llevar a cabo un control que les permita observar los cambios del agua y de esta forma estar prevenidos y mejorar sus sistemas de tratamiento de desechos.

La ubicación de las dos estaciones se estableció de la siguiente forma:

Estación de Transmisión:

Coordenadas: 0°17'11.46'' S (0.286517) 78°21'24.02'' O (78.356672)

Elevación: 2589m

Estación Recepción:

Coordenadas: 0°17'29.64'' S (0.2915667) 78°21'27.49'' O (78.357636)

Elevación: 2630m

Se estableció que en los dos puntos elegidos, tanto en la transmisión de datos como en la recepción de datos, existe línea de vista entre las dos estaciones, que es justamente lo necesario para poder transmitir los datos sin mayor dificultad.

En la siguiente imagen se muestra como las estaciones pueden visualizarse entre sí, sin que exista ningún tipo de obstrucción.



Figura 26. Línea de vista entre dos antenas y perfil de elevación.

Adaptado de Google Earth, 2017



Los equipos se instalarían en pequeñas torretas para que se facilite la visibilidad de una antena con la otra

#### 3.1.2.4 Cálculo de distancia entre las dos estaciones

La fórmula para el cálculo de distancia entre dos puntos es la siguiente (Martinez, sf.):

$$D = \sqrt{(\Delta Long \times 111.32)^2 + (\Delta Lat \times 111.32)^2 + \Delta h^2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Por tanto utilizando la Ecuacion 1 la distancia entre las dos estaciones

$$\Delta Long = Long \text{ Estacion Tx} - Long \text{ Estacion Rx}$$

$$\Delta Long = 0.000964$$

$$\Delta Lat = Lat \text{ Estacion Tx} - Lat \text{ Estacion Rx}$$

$$\Delta Lat = 0.00505$$

$$\Delta h = h \text{ Estacion Tx} - h \text{ Estacion Rx}$$

$$\Delta h = 41m = 0.041km$$

$$D = \sqrt{(0.000964 \times 111,32)^2 + (0.00505 \times 111,32)^2 + 0,041^2}$$

$$D = 0.573Km$$

#### 3.1.2.5 Conexiones para la transmisión

En la caseta mencionada anteriormente se encuentra instalado el equipo Power over Ethernet (PoE). Utilizando el cable UTP categoría 5e de máximos 3 metros para evitar pérdidas, se conecta la placa computador con el PoE en el puerto LAN

A su vez el PoE se conecta con el radio Rocket M2 utilizando un segundo cable UTP categoría 5e de máximo 3 metros por el puerto Ethernet.

Los dos puertos (LAN y Ethernet) se pueden ver en la siguiente imagen



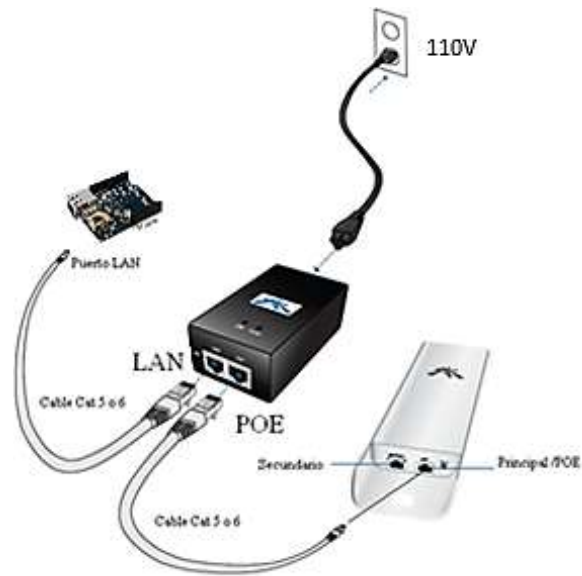
*Figura 27.* Puertos LAN y Ethernet.  
Tomado de: Ubiquiti networks , 2013

El PoE también tiene la funcionalidad de energizar el radio de transmisión a través del mismo puerto Ethernet como se muestra a continuación.



*Figura 28.* Energización del radio M2 a través del puerto Ethernet del PoE.  
Adaptado de: Ubiquiti networks , 2013

Para energizar el PoE se necesitará una fuente de energía de 110V la cual estará localizada en la caseta. En la siguiente imagen se muestra la conexión final del equipo.

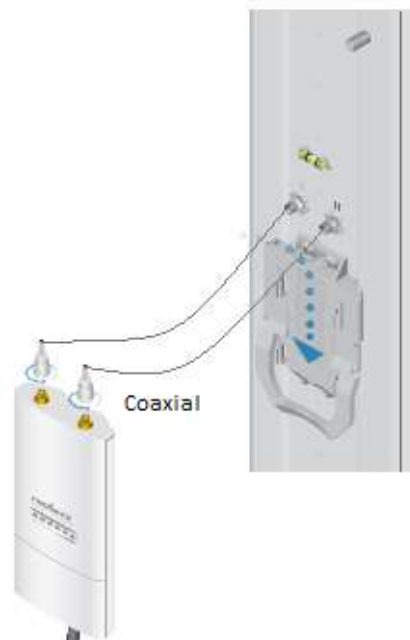


*Figura 29.* Conexión final del PoE.

Adaptado de: Ubiquiti networks , 2013

Para la conexión entre el radio Rocket M2 y la antena AM-2G16-90 se utilizará cable coaxial como línea de transmisión y los conectores RP – SMA que recomienda la guía de uso del equipo.

La función principal del cable coaxial es transportar la señal del radio a la antena y viceversa. Para los sistemas de transmisión que utilizan frecuencias de 2.4 GHz se recomienda utilizar cable coaxial rígido para minimizar la atenuación, de igual manera mientras más grueso sea el cable coaxial, la atenuación se reducirá. La figura 30 muestra la conexión de la antena.



*Figura 30.* Conexión del radio M2 a la antena  
Adaptado de: Ubiquiti networks, 2013

### 3.1.2.6 Conexiones para la recepción

Para la conexión entre el segundo radio Rocket M2 con el PoE se utilizará un cable UTP categoría 5e con longitud máxima de 3 metros, similar al esquema de conexión que se utilizó en la transmisión de datos.

De igual manera los datos recibidos son transportados desde el PoE hacia una segunda placa controladora con una conexión por cable UTP categoría 5e de 3 metros.

### 3.1.2.7 Cálculo de atenuación por cable coaxial y conectores

Se utiliza el cable coaxial LMR-400 el cual es un cable rígido con bajas pérdidas y trabaja en la frecuencia de 2.4 GHz. En la siguiente tabla se muestran los distintos tipos de cables y su atenuación por metro.

Tabla 7.

*Atenuación de cables coaxiales*

Tipo de cable	Diámetro	Atenuación @ 2.4 GHz	Atenuación @ 5.3 GHz
RG-58	4.95 mm	0.846 dB/m	1.472 dB/m
RG-213	10.29 mm	0.475 dB/m	0.829 dB/m
LMR-400	10.29 mm	0.217 dB/m	0.341 dB/m
LDF4-50A	16 mm	0.118 dB/m	0.187 dB/m

Tomado de: Rob, 2010

Para la conexión entre la antena de transmisión y el radio Rocket M2, se utilizará 25 metros de cable coaxial debido a que la antena se encuentra ubicada en una parte alta para tener línea de vista con el receptor. Mientras que para la conexión de la antena de recepción con el radio Rocket M2, se utilizará 10 metros de cable coaxial. Por lo tanto las pérdidas por cables tanto de transmisión como de recepción serían las siguientes:

Pérdidas por cable de transmisión:

$$\text{Pérdida del cable LMR400 según la tabla 7} = 0.217 \frac{dB}{m}$$

$$\text{Longitud de Cable Tx} = 25 \text{ metros}$$

$$\text{LossCab}_{Tx} = 0.217 \frac{dB}{m} * 25 m$$

$$\text{LossCab}_{Tx} = 5.43 \text{ dB}$$

Pérdidas por cable de recepción:

$$\text{Longitud de Cable Rx} = 10 \text{ metros}$$

$$LossCab_{Rx} = 0.217 \frac{dB}{m} * 10 m$$

$$LossCab_{Rx} = 2.17 dB$$

Para la atenuación por conectores se considera un valor de 0.25db por conector.

### 3.1.2.8 Pérdida en espacio libre

La pérdida en espacio libre entre las dos estaciones se las podrá calcular con la ecuación (UIT, sf.):

$$A_L(dB) = 32,44 + 20 \log f(Mhz) + 20 \log d(km) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Utilizando la ecuación 2

$$f \rightarrow \text{frecuencia del equipo} = 2.4GHz = 2402Mhz$$

$$d \rightarrow \text{distancia entre las estaciones} = 0.573km$$

$$A_L(dB) = 32,44 + 20 \log 2402 Mhz + 20 \log 0.573$$

$$A_L(dB) = 95.21dB$$

### 3.1.2.9 Potencia recibida

Para le cálculo de la potencia recibida se aplicara la siguiente formula

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - LossCab_{Tx} - LossCon_{Tx} - A_L + G_{Rx} - LossCab_{Rx} - LossCon_{Rx}$$

(Ecuación 3)

*Dónde:*

$P_{Rx}$  = Potencia de Recepción

$P_{Tx}$  = Potencia de Transmisión → 24dBm segun tabla 4

$G_{Tx}$  = Ganancia de la antena de transmisión → 17dBi segun tabla 6

$LossCab_{Tx}$  = Pérdidas en el cable de la antena de transmisión  
→ 5.23dB

$LossCon_{Tx}$  = Pérdidas en el conector de la antena de transmisión  
→ 0.25dB

$A_L$  = Pérdidas en el espacio libre → 95.21dB

$G_{Rx}$  = Ganancia de la antena de recepción → 17dBi segun tabla 6

$LossCab_{Rx}$  = Pérdidas en el cable de la antena de recepción  
→ 2.14dB

$LossCon_{Rx}$  = Pérdidas en el conector de la antena de recepción  
→ 0.25dB

$$P_{Tx} = 24dBm$$

$$G_{Tx} = 17 dBi$$

$$LossCab_{Tx} = 5.43 dB$$

$$LossCon_{Tx} = 0.25 dB$$

$$A_L = 95.21 dB$$

$$G_{Rx} = 17 dBi$$

$$LossCab_{Rx} = 2.17 dB$$

$$LossCon_{Rx} = 0.25 dB$$

Utilizando la ecuación 3

$$P_{Rx} = 24dBm + 17 dBi - 5.43 dB - 0.25 dB - 95.21 dB + 17 dBi \\ - 2.17 dB - 0.25 dB$$

$$P_{Rx} = -45.31 dBm$$

Como se puede ver en las especificaciones del equipo (Tabla 4), la sensibilidad del mismo es  $-75\text{dBm}$ . Con esto verificamos que la potencia de señal recibida es precisa y suficiente, con la que se podrá mostrar los datos en la etapa de interpretación de datos sin mayor problema.

Con el objetivo de comprobar los cálculos anteriormente detallados se realizó una simulación utilizando el software Radio Mobile, en el cual se configuró como parámetros de entrada los valores de Potencia de Transmisión, Ganancia de las antenas, altura y ubicación de los equipos, frecuencia de operación y pérdidas, obteniendo así los siguientes resultados en la figura 31.

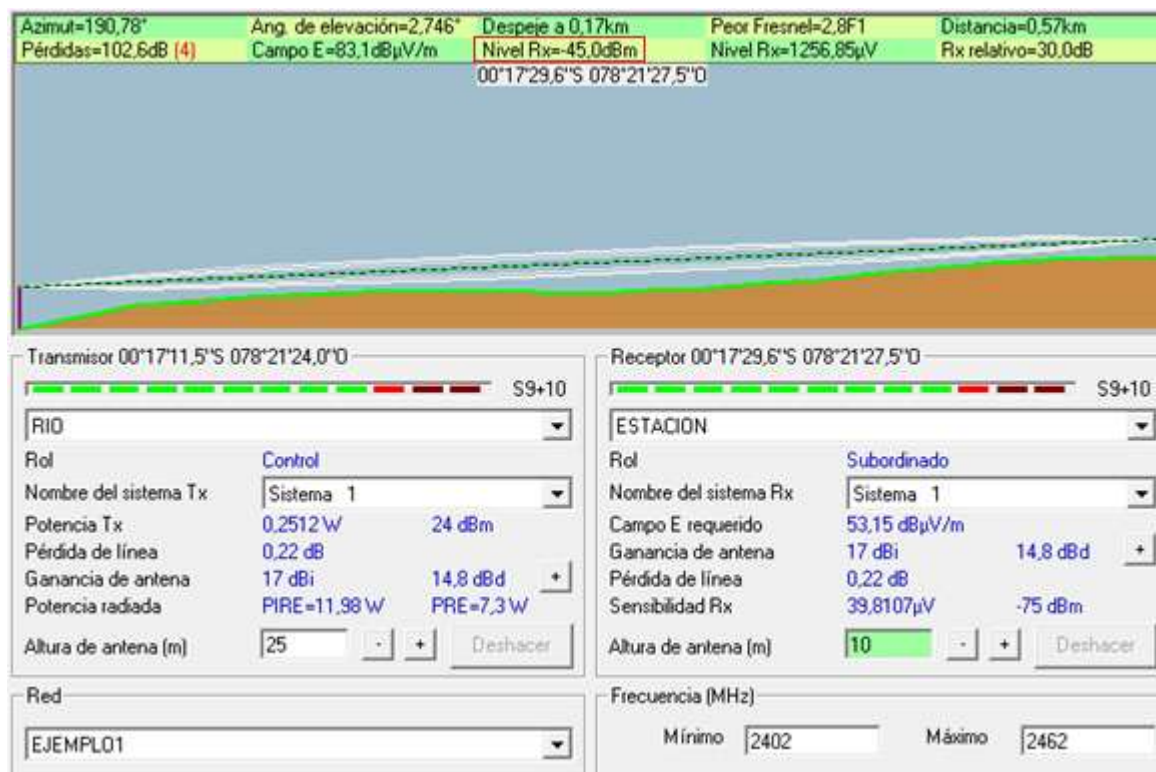


Figura 31. Simulación del enlace.

Resultado potencia de recepción:

$$P_{Rx} = -45 \text{ dBm}$$



### 3.1.3 Recepción e interpretación de datos en la estación base

Al igual que en la etapa de transmisión, la placa computadora de recepción deberá tener dos puertos. Un puerto RJ45 para recibir los datos del PoE y un puerto USB para enviar los datos a la computadora.

#### 3.1.3.1 Interpretación de datos

Los datos recibidos serán mostrados en una interfaz desarrollada en Visual Basic, la cual mostrará los valores que envíe el sensor de acuerdo a la programación. Además se mostrarán alertas (alto, medio o bajo) dependiendo del valor recibido. Visual Basic recibe los datos a través del puerto serial utilizando el control MSComm el cual es configurado con sus respectivas propiedades. Finalmente esta misma interfaz está programada para guardar los datos recibidos, con el intervalo programado, en una hoja de Excel.

### 3.2 Prototipo diagrama general

En esta sección se explicará los elementos utilizados en el prototipo, sus principales características y funcionamiento. La siguiente imagen muestra el diagrama general de cada elemento del prototipo.

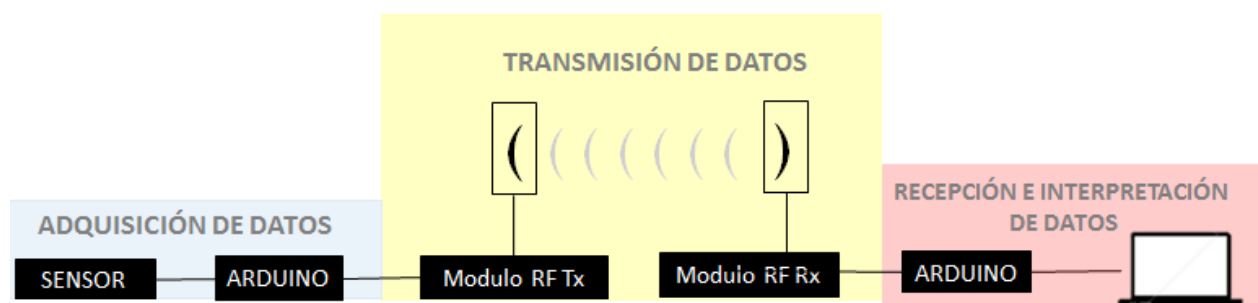


Figura 32. Diagrama de bloques y etapas del prototipo.

### 3.2.1 Adquisición de datos

#### 3.2.1.1 Sensor de turbidez

El sensor es el TSW-10 de la marca Amphenol. Este sensor permite controlar el nivel de turbidez del agua de acuerdo a la cantidad de luz que pasa a través de una muestra de agua. Entre más sucia se encuentre la muestra, menor intensidad de luz es transmitida.

En la siguiente imagen se muestra el esquema general del sensor y en la figura 34 se muestra el sensor utilizado en el prototipo.

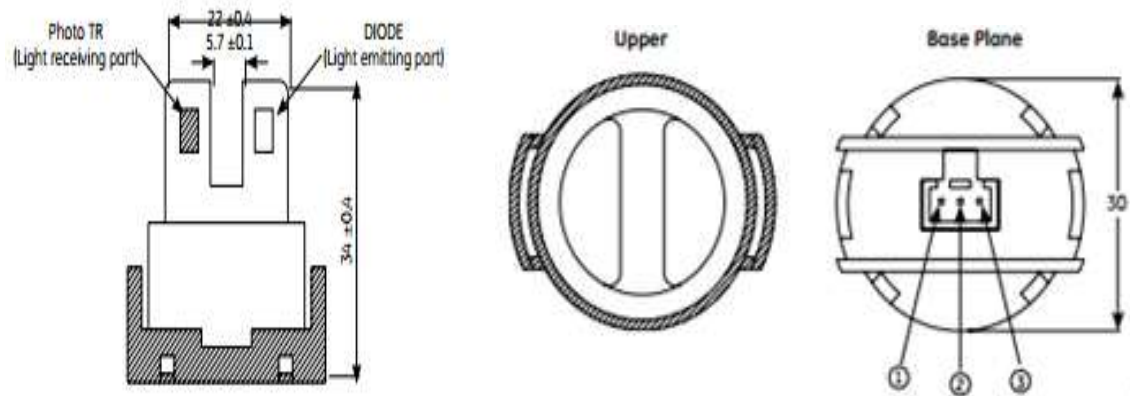


Figura 33. Sensor turbidez.

Tomado de Thermometrics, s.f.



Figura 34. Sensor turbidez. TSW-10

### 3.2.1.2 Lectura de datos en Arduino

Los datos enviados por el sensor serán recibidos en una placa Arduino, la cual fue programada en el software de codificación de la misma placa.

El pin de salida del sensor se conecta al pin A0 de la placa computadora programado como entrada. Aquí se programa también el intervalo de obtención de datos. La siguiente figura muestra la placa utilizada en el prototipo.



*Figura 35.* Arduino UNO.

### 3.2.2 Transmisión de datos

Para la transmisión de datos se utilizó módulos de radiofrecuencia que transmiten y reciben datos de forma inalámbrica, y se pueden utilizar para comunicar dos procesadores. Su frecuencia de trabajo es 433MHz, por lo tanto su uso es gratuito. Este módulo tiene comunicación unidireccional y se realiza por modulación ASK (modulación por desplazamiento de amplitud).

Los datos del sensor que se leyeron en la placa computadora serán enviados a otra placa computadora de forma inalámbrica a través de estos módulos de radiofrecuencia con las funciones de la librería VirtualWire. Esta librería facilita

la gestión de funciones básicas de los módulos como la transmisión y recepción de datos.

El pin digital 9 se utiliza como salida de la placa computador hacia el módulo de transmisión. Una vez transmitidos los datos, la segunda placa computador los recibe en el pin digital 9.

Debido a que la variación de voltaje del sensor es pequeña, se amplificó la señal utilizando amplificadores operacionales antes de enviarla a los módulos rf. Las figuras 36 y 37 muestran los módulos utilizados.



*Figura 36.* Módulo de transmisión.



*Figura 37.* Módulo de recepción.

A continuación se muestra el diagrama de conexión del Arduino transmisor y receptor.

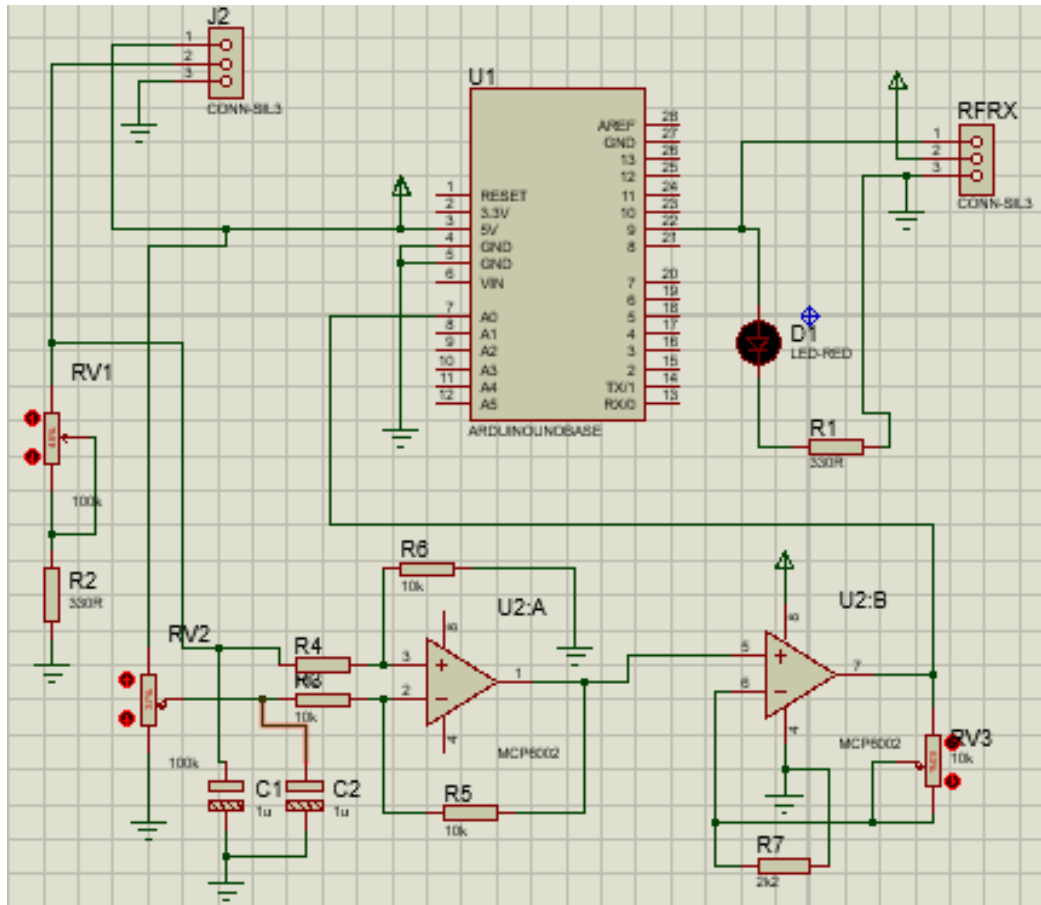


Figura 38. Diagrama de conexión TX en Proteus.

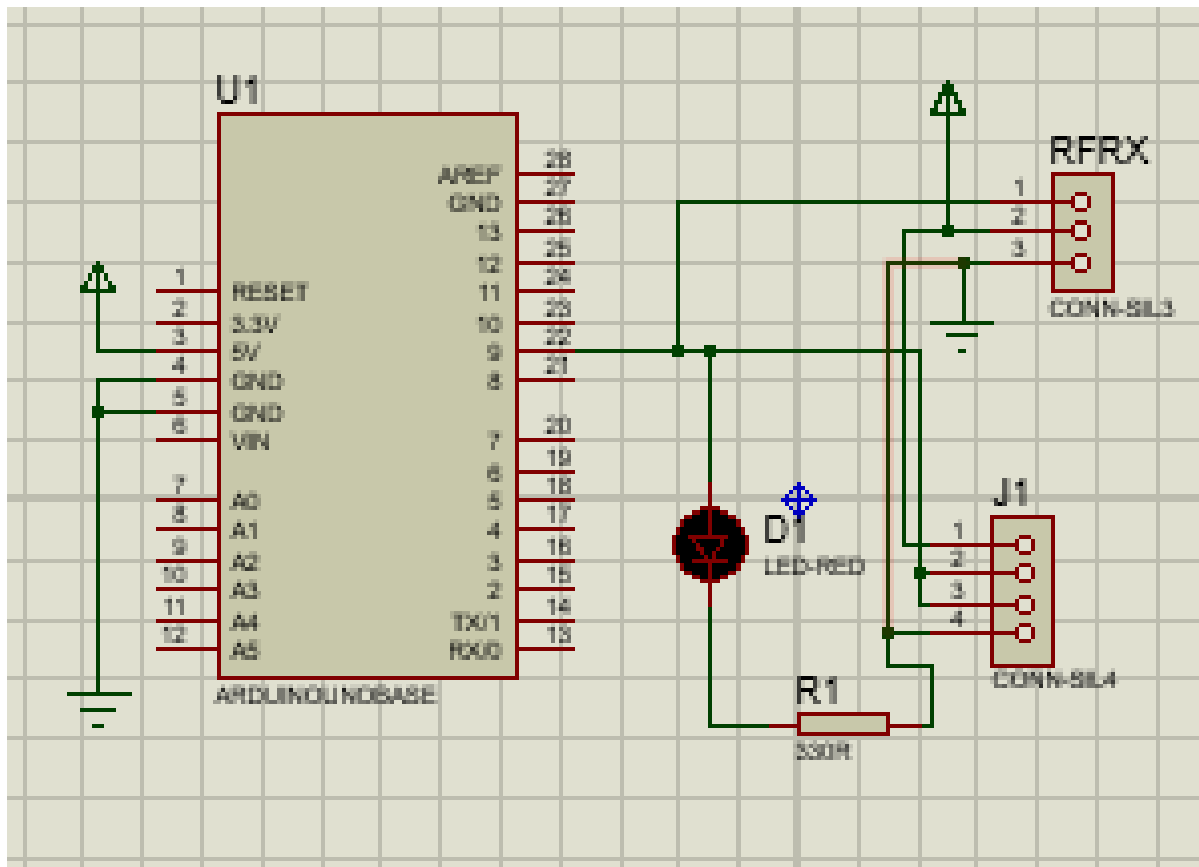


Figura 39. Diagrama de conexión RX en Proteus.

### 3.2.3 Recepción e interpretación de datos

La segunda placa computador ador está conectado a la computadora a través de comunicación serial. Se realizó la programación de la interfaz en Visual Basic donde se puede visualizar el dato del sensor en NTUs basado en el rango de la calibración mencionada anteriormente. Además se puede ver las alertas BAJO, MEDIO BAJO, MEDIO, MEDIOALTO, y ALTO acorde a lo programado. Se muestran además datos adicionales como fecha y hora. Para iniciar el programa es solo necesario entrar directamente a la aplicación.

A continuación la pantalla interfaz programada.



Figura 40. Interfaz Visual Basic.

Finalmente los datos que son censados y mostrados en la interfaz serán guardados en una hoja de Excel al presionar el botón Empezar y dejara que grabar datos al presionar el botón Detener. Con eso se evita que en el archivo se almacenen datos basura. El archivo se genera en la misma carpeta donde está ubicado el proyecto.

HORA	FECHA	NTU	ALARMA
9:24:26	06/06/2017	16	MEDIO ALTO
9:24:30	06/06/2017	16	MEDIO ALTO
9:24:33	06/06/2017	4	MEDIO BAJO
9:25:59	06/06/2017	16	MEDIO ALTO
9:26:02	06/06/2017	16	MEDIO ALTO
9:26:05	06/06/2017	16	MEDIO ALTO
9:26:08	06/06/2017	40	ALTO
9:26:11	06/06/2017	16	MEDIO ALTO
10:25:21	06/06/2017	16	MEDIO ALTO
10:26:27	06/06/2017	0	

Figura 41. Captura de hoja de Excel con datos guardados.

### 3.2.4 Análisis de pruebas y resultados

#### 3.2.4.1 Calibración de sensor

Para realizar la calibración del sensor, se elaboró cinco muestras con agua y distintas cantidades de anilina. Estas muestras fueron analizadas en un laboratorio y etiquetadas con los valores de turbidez correspondientes.

Se hizo la comprobación de cada muestra con el sensor del prototipo, y de acuerdo a la salida del voltaje en cada medición de cada frasco se establecieron cinco rangos de acuerdo a la turbidez indicada por el laboratorio, quedando de la siguiente forma:



Tabla 8.

*Resumen de pruebas*

T=2.52m/muestra						
Muestra	# muestras	Min	Max	Media	DST	Varianza
0 NTU	52	1018	1021	1019	0,682	0,466
4 NTU	55	794	899	819	21,909	480,013
8 NTU	52	574	649	603	16,262	264,456
16 NTU	51	120	324	173	55,124	3038,613
40 NTU	51	3	84	27	25,702	660,603

Rangos:

0 NTU → > 900 mV

4 NTU → > 700 y <900 mV

8 NTU → > 520 y <690 mV

16 NTU → > 100 y <350 mV

40 NTU → < 100 mV

Es importante realizar la calibración con la menor influencia de luz posible, pues al ser un sensor fotodetector, la luz incidiría en los resultados. La figura 42 muestra las distintas muestras de agua utilizadas.



Figura 42. Muestras analizadas.

Se debe comprobar que la lectura de los sensores y el funcionamiento de la interfaz sean correctos, previo a la impresión de la placa final como se muestra en la siguiente figura.

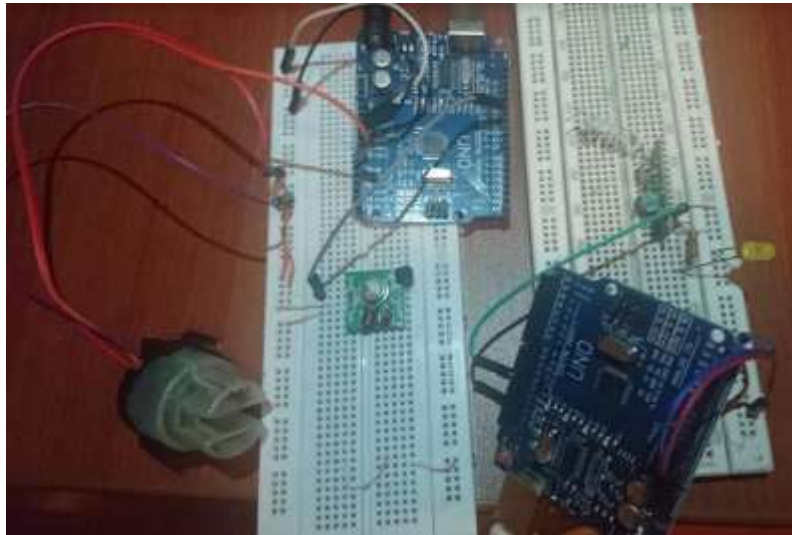


Figura 43. Pruebas en Protoboard.

Se realizaron pruebas con las muestras de agua y la visualización de los datos en la interfaz es correcta como muestra la siguiente figura.



Figura 44. Prueba de medición de turbidez de una muestra.

Una vez probado el prototipo se procede a implementar una placa electrónica según el diseño soportado en Proteus como se muestra a continuación .

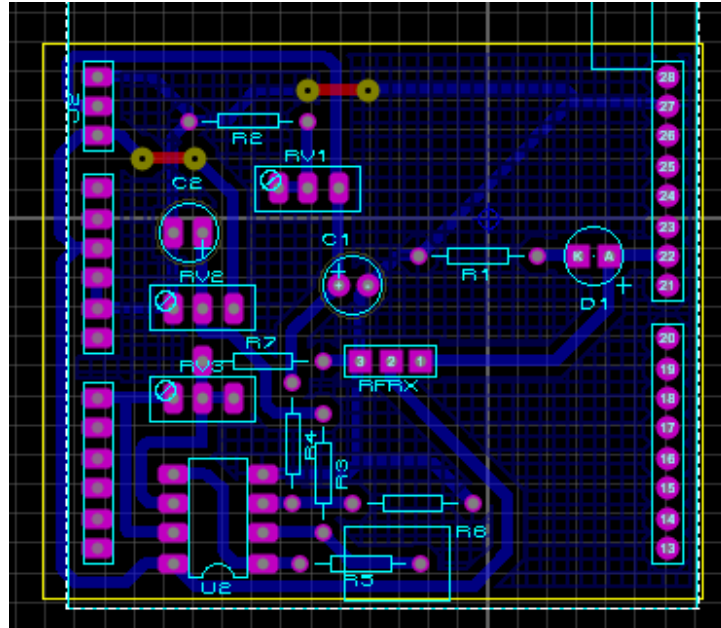


Figura 45. Placa electrónica Tx.

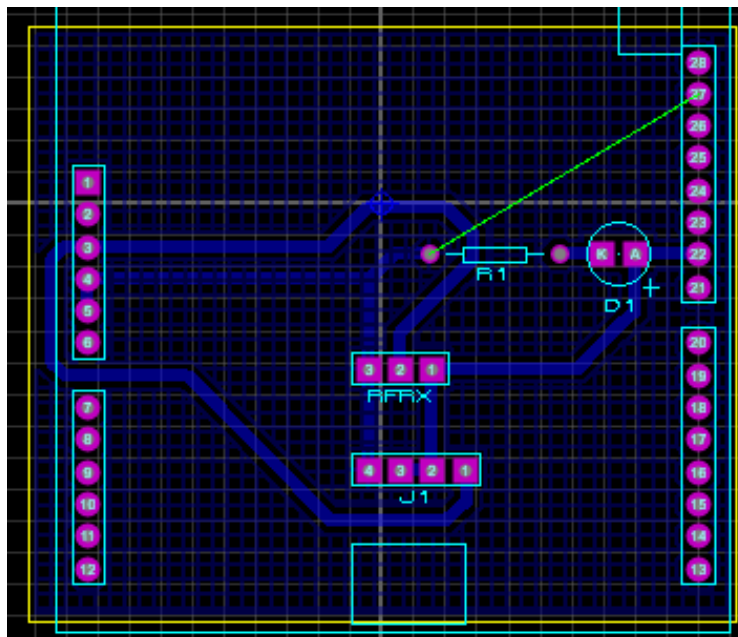
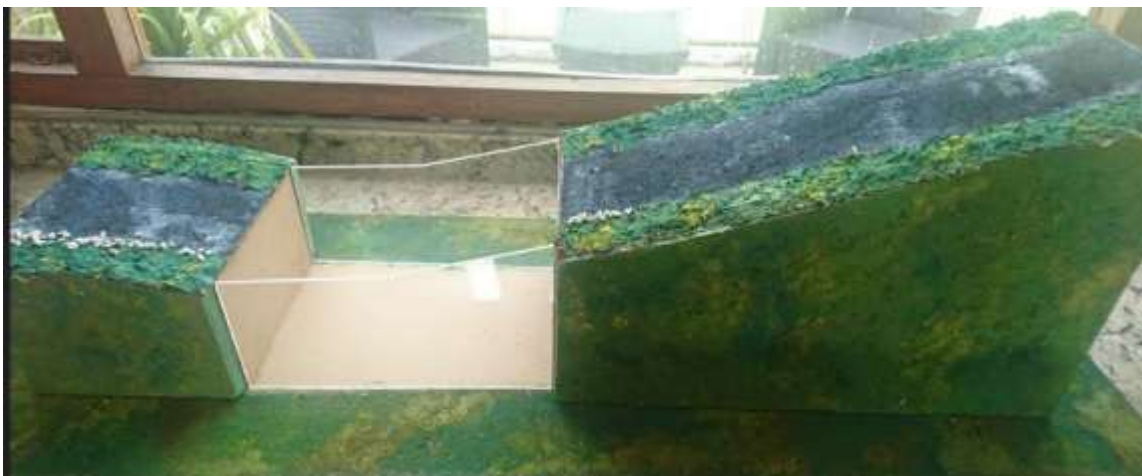


Figura 46. Placa electrónica Rx.



*Figura 47.* Placas electrónicas terminadas.

Finalmente se construye una maqueta (figura 48) que simula la geografía del río donde se ubican las dos placas.



*Figura 48.* Maqueta del prototipo.

Referirse al Anexo A para ver el manual de usuario del prototipo.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Después de la investigación realizada se determinó que la principal fuente de contaminación del río es el relleno sanitario El Inga, y las comunidades más afectadas son Santa Ana, El Belén, Itulcachi y El Inga Bajo. Este sector actualmente se considera un sitio con alto nivel de contaminación producido por los desechos que se procesan en el relleno sanitario. A pesar de su mediana prolongación la importancia del río es significativo para los pobladores aledaños debido a que utilizan esta agua para riego en sus sembríos y de fuente de bebida para sus animales. Sin embargo son los mismos pobladores quienes reclaman a las autoridades por la mala calidad del agua del río. Conociendo esta circunstancia se determinó que es importante obtener datos de la calidad de agua de esta corriente y de esta forma controlar los cambios que se puedan producir debido a la operación del relleno sanitario.

Se diseñó el sistema de monitoreo que considera la obtención parámetros de calidad de agua proponiendo el sensor Hydrolab HL4, el cual tiene incorporado varios sensores en una sola sonda que permite medir varias características del agua y además la comunicación del mismo es sencilla a través de un puerto USB. Estos datos se transmiten a una estación base a través de un sistema inalámbrico basado en la tecnología WiFi, que a más de ser de banda libre, ofrece una buena cobertura y su instalación no es complicada. Se logró comprobar que la potencia recibida está dentro del rango de la sensibilidad del receptor y los equipos de marca Ubiquiti utilizados en el diseño son capaces de transmitir datos sin que la señal se atenúe. En cuanto a la ubicación de cada elemento se logró un equilibrio entre la necesidad de la población y los requerimientos técnicos del enlace, es decir que los datos serán censados a la altura de la primera comunidad afectada y con eso podemos determinar si el agua en este punto es apta para su uso. Conjuntamente entre estos puntos

existe línea de vista entre emisor y receptor para lograr que la comunicación sea óptima.

Se construyó un prototipo didáctico que demuestra a escala el funcionamiento del diseño. Se consiguió que el prototipo obtenga datos del sensor de turbidez TSW-10 el cual funciona utilizando fotodiodos y permite la comunicación con una placa Arduino UNO. Esta placa que, es suficiente para el uso que se le va a dar, sirvió para recibir los datos del sensor y enviarlos de forma inalámbrica a través de módulos de radiofrecuencia de forma satisfactoria. El entorno de programación de la placa es de código libre lo que evitó la necesidad de conseguir licencias de software. Para la comunicación inalámbrica se utilizaron los módulos RF de 433Mhz, que permiten ser utilizados sin restricción de banda y son compatibles con la placa Arduino, su programación se la puede realizar en el software de la misma placa agregando la biblioteca Virtualwire. Se consiguió que los datos recibidos en el computador sean visualizados en la interfaz programada en Visual Basic, e indique alarmas para notificar el estado del agua según la programación escrita. Y finalmente se logró que el prototipo pueda guardar datos históricos del nivel de turbidez de las muestras de agua en una hoja de Excel, lo que permitirá analizar los datos y realizar cualquier tipo de reporte.

El diseño propuesto del sistema de transmisión puede ser aplicable en otros ríos con la misma o similar problemática, pues se propone utilizar equipos que son de bajo costo y de fácil acceso en el mercado. Asimismo al ser software libre el que se utiliza en este proyecto se lo puede manejar sin necesidad de licencias. Es importante mencionar que el diseño puede ser escalable y se puede añadir otro tipo funcionalidades que permitan obtener más información que podría ayudar a tener un reporte más completo que permita identificar factores que no son tan perceptibles. Con los datos históricos obtenidos a través del sistema de monitoreo planteado, se podría analizar y obtener reportes que permitan establecer programas para los pobladores aledaños sobre el correcto uso del

agua del río, por ejemplo, cuando sería viable utilizarlo y cuando se recomienda no hacer uso del mismo. Además con estos datos el relleno sanitario también podría tomar medidas correctivas o preventivas en caso de necesitarlo.

## **4.2 Recomendaciones**

El sensor utilizado en el diseño debe ser ubicado en un lugar con la mínima exposición solar debido a que uno de sus sensores puede verse influenciado por ser fotodetector. Se recomienda además realizar limpieza al menos una vez al mes de los lentes de lectura del sensor para evitar que se acumulen desechos y las mediciones no sean precisas.

Se debe procurar instalar los equipos utilizando las guías de instalación correspondientes para evitar cualquier tipo de daño y garantizar que su funcionamiento sea correcto. Se recomienda realizar mantenimientos a los equipos del diseño de forma periódica y pruebas del enlace de comunicación para verificar que los datos enviados sea correctos y no exista ningún tipo de interferencia o cualquier tipo de fenómeno que pueda desgastar o deteriorar la señal enviada

Para que el funcionamiento del prototipo sea el más óptimo, se debe censar los datos de las muestras de agua con la mínima exposición de luz, debido a que siendo el sensor de turbidez un sensor óptico, los resultados pueden verse afectados. El sensor de turbidez también debe ser calibrado para que su funcionamiento sea correcto, y se debe evitar mojar el circuito interno del sensor, teniendo cuidado al momento de realizar las pruebas en las muestras de agua.

## REFERENCIAS

- Anderson. (2017). *Directindustry*. Recuperado el 03 de mayo de 2017, de <http://www.directindustry.es/prod/anderson-instrument/product-14400-484581.html>
- Calderon. (s.f.). *Analisis de Turbidez*. Recuperado el 04 de noviembre de 2016, de [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Analisis\\_de\\_Turbidez.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Analisis_de_Turbidez.htm)
- CENTRE FOR MICROCOMPUTER APPLICATIONS(s.f.). Recuperado el 13 de julio de 2015 de [http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt\\_sensors/BT27i\\_es.pdf](http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt_sensors/BT27i_es.pdf)
- Colacelli, N. A. (2010). *Calidad de agua para bebida animal*. Recuperado el 03 de 11 de 2016, de [http://www.produccion.com.ar/1997/97abr\\_11.htm](http://www.produccion.com.ar/1997/97abr_11.htm)
- EPA. (1993). *Method 180.1: Determination of Turbidity by Nephelometry*. Recuperado el 10 de diciembre de 2016, de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_180-1\\_1993.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_180-1_1993.pdf)
- Eper. (s.f.). *Fluentes contaminantes*. Recuperado el 03 de noviembre de 2016, de <http://www.eper-es.es/contaminacion-de-rios/>
- Fundacion Vasca para la Seguridad Agroalimentaria. (2012). *El Agua en las Explotaciones Ganaderas*. Recuperado el 05 de 11 de 2016, de <http://www.elika.eus/datos/articulos/Archivo923/ART%C3%8DCULO%20>
- Hydromet. (2016). *Calidad de agua*. Recuperado el 30 de mayo de 2017, de <http://www.ott.com/es-es/productos/calidad-de-agua-85/hydrolab-hl4-280/>
- IMAGUA. (2013). *Parametro de Calidad de agua*. Recuperado el 03 de noviembre de 2016, de <http://www.imagua.es/pages/index/parametros-de-calidad-del-agua-2>
- INEC. (28 de 04 de 2015). *Calidad del Agua*. Recuperado el 02 de noviembre de 2016, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/612/calidad.pdf>
- Jacome, M. (2011). *Plan de desarrollo sustentable de las comunidades asentadas en el area de influencia del relleno sanitario El Inga*. Quito.
- Martha Castañeda, J. C. (2015). *Impacto de fondo en la compensacion en el desasrrollo de las cuatro comunidades aledañas al relleno sanitario*. Quito.



- Ministerio de agricultura y riego Peru. (2016). Recuperado el 06 de noviembre de 2016, de [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe)
- Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y Agricultura. (1992). *Prevencion de la contaminacion del agua por la agricultura y actividades afines*. Santiago de Chile.
- Payeras, A. (s.f). *Parametros de Calidad de las Aguas de Riego*. Recuperado el 03 de noviembre de 2016, de <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>
- Ramirez, F. (2016). *El Agua Potable*. Recuperado el 2 de noviembre de 2016, de [http://www.elaguapotable.com/calidad\\_del\\_agua.htm](http://www.elaguapotable.com/calidad_del_agua.htm)
- Rivera, D. (2015). *Diseno e Implementacion de un Prototipo para la Medicion de Calidad del Agua*. Universidad Salesiana. Recuperado el 06 de noviembre de 2016, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10328/1/UPS-GT001238.pdf>
- Rocha. (s.f.). *Parametros y characteristics de aguas naturales*. Recuperado el 03 de noviembre de 2016, de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>
- Sancha, A. M. (2005). *Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados para Uso en Riego* . Recuperado el 05 de noviembre de 2016, de [http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_aguas/informe\\_final.pdf](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf)
- Sela, G. (s.f.). *La Calidad del Agua de Riego*. Recuperado el 03 de noviembre de 2016, de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality>
- Tayupanta, T. d. (2014). *Diseño y Construccion de un Modulo Portatil de Ehibicion para Supervision de Parametros de Agua*.
- TECMES. (s.f.). *TECMES Inteligencia Artificial*. Recuperado el 04 de marzo de 2017, de <http://www.tecmes.com/wp-content/uploads/2014/12/TS330-Manual-Rev.03.pdf>
- Ubiquiti networks . (2013). Antenas Imax. Recuperado el 30 de abril de 2017, de [https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxsector/airMAX\\_Sector\\_Antennas\\_DS.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxsector/airMAX_Sector_Antennas_DS.pdf)
- UPRM. (s.f.). *Parametros Fisico-Quimicos*. Recuperado el 06 de 11 de 2016, de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-temperatura.pdf>

Xylem Analytics.(2017) *Sensores de agua*. Recuperado el 26 de abril de 2017, de <http://www.xylem-analytics.in/productsdetail.php?Global-Water-WQ730-Turbidity-Sensor-WQ770-B-Turbidity-Meter-106>

**ANEXOS**

## Anexo 1

### Manual de usuario del prototipo

1. Energizar la placa electrónica de transmisión
2. Conectar con cable USB la placa electrónica receptora en el computador
3. Abrir la aplicación de Visual Basic
4. Colocar el sensor en la muestra de agua, evitando que el circuito interno del sensor se moje, sumergirlo solo hasta llegar a la tapa de plástico negra.
5. Dar clic en el botón EMPEZAR para que los datos censados empiecen a almacenarse en la hoja de Excel.
6. Al terminar las mediciones, asegurarse de dar clic en el botón DETENER antes de sacar el sensor de la muestra, de esta forma se evita almacenar datos basura.
7. Para Visualizar el archivo Excel dirigirse a la carpeta donde esta guardada la aplicación y abrir el archivo con nombre ntu.
8. Para volver a correr la aplicación asegurarse de que el archivo Excel se encuentre cerrado para evitar errores.
9. Los datos y alarmas que se visualizan en la pantalla están programados según el rango establecido anteriormente.
10. Es recomendable realizar las pruebas sin exposición de luz directa, debido a que podría afectar las medidas.

## Anexo 2

```
#include <VirtualWire.h>

const int dataPin = 9;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  vw_setup(2000);
  vw_set_tx_pin(dataPin);
}

void loop()
{
  int sensorValue = 0;
  String str;
  char buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
  long sensorValue=0;
  int s;
  for(s=0;s<10;s++)
  {
```

```
delay(10);  
    sensorValue = analogRead(A0);  
    Serial.println(sensorValue);  
    sensorValueet=sensorValueet+sensorValue;  
  
sensorValue=sensorValueet/10;  
str = "i" + String(sensorValue); /// Convertir a string  
str.toCharArray(buf, sizeof(buf)); // Convertir a char array  
vw_send((uint8_t *)buf, strlen(buf)); // Enviar array  
vw_wait_tx(); // Esperar envio  
    delay(200);  
}
```

### Anexo 3

```
#include <VirtualWire.h>
const int dataPin = 9;
void setup()
{
  pinMode(A1, OUTPUT);
  pinMode(A2, OUTPUT);
  digitalWrite(A1,HIGH);
  digitalWrite(A2,LOW);
  Serial.begin(9600);+
  vw_setup(2000);
  vw_set_rx_pin(dataPin);
  vw_rx_start();
}
void loop()
{
  uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
  uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;
  if (vw_get_message((uint8_t *)buf,&buflen))
  {
    String dataString;
    if((char)buf[0]>0)
    {
```

```
for (int i = 1; i < buflen; i++)
{
    dataString.concat((char)buf[i]);
}
int dataInt = dataString.toInt(); // Convertir a int
Serial.print("I");
if(dataInt<10)
{
    Serial.print("000");
    Serial.println(dataInt);
}
if(dataInt>9&&dataInt<100)
{
    Serial.print("00");
    Serial.println(dataInt);
}
if(dataInt>99&&dataInt<1000)
{
    Serial.print("0");
    Serial.println(dataInt);
}
```



```
    }  
    if(dataInt>999)  
    {  
        Serial.println(dataInt);  
    }  
}  
}
```

## Anexo 4

```
Dim ntu As Single
```

```
Dim celda As Long
```

```
Dim celda1 As Byte
```

```
Dim ALARMA As String
```

```
Dim M As Byte
```

```
Dim variable As Byte
```

```
Public Function enviar(cadenaSalida As String)
```

```
On Error GoTo mierror
```

```
Dim I As String
```

```
    If MSComm1.PortOpen = False Then
```

```
        MsgBox "El Puerto está cerrado, ábralo "
```

```
    Else
```

```
        MSComm1.Output = cadenaSalida & Chr(&HD)
```

```
        If MSComm1.InBufferCount <> 0 Then
```

```
            I = MSComm1.Input
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
Exit Function
```

```
mierror:
```

```

    MsgBox "Error Inesperado con el Puerto"
End Function
Public Function enviar1(cadenaSalida As String)

On Error GoTo mierror
Dim I As String
    If MSComm1.PortOpen = False Then
        MsgBox "El Puerto está cerrado, ábralo "
    Else
        MSComm1.Output = cadenaSalida
        If MSComm1.InBufferCount <> 0 Then
            I = MSComm1.Input
        End If
    End If
End If
Exit Function
mierror:
    MsgBox "Error Inesperado con el Puerto"
End Function

Error Inesperado con el Puerto"
End Function
Private Sub Command1_Click()
If M = 0 Then
    M = 1

```

```
Command1.Caption = "DETENER"  
Timer2.Enabled = True  
Else  
Text2.Text = ""  
Label2.Caption = ""  
M = 0  
Command1.Caption = "EMPEZAR"  
Timer2.Enabled = False  
End If  
End Sub  
  
Private Sub Form_Load()  
    abrirPuerto  
End Sub  
Public Sub abrirPuerto()  
    On Error GoTo mierror  
    If Not MSComm1.PortOpen Then  
        MSComm1.CommPort = 7  
        MSComm1.Settings = "9600,n,8,1"  
        MSComm1.InputLen = 0  
        MSComm1.PortOpen = True  
    Else  
        MsgBox ("Puerto COM 1 está abierto"), , "Puerto de Comunicaciones Serial"  
    End If
```

mierror:

```
MsgBox "Número de Puerto NO VALIDO", vbInformation
```

```
numeroPuerto = CInt(InputBox("Escriba el número de Puerto de  
Comunicación", "Puerto de Comunicación", "1"))
```

```
abrirPuerto
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
Dim st As String
```

```
Dim S As String
```

```
Dim l As Byte
```

```
Dim ntu1 As Single
```

```
Label4.Caption = Time$
```

```
Label5.Caption = Date$
```

```
If MSComm1.InBufferCount <> 0 Then
```

```
st = MSComm1.Input
```

```
l = Len(st)
```

```
If l = 7 And M = 1 Then
```

```
S = Mid(st, 1, 1)
```

```
If S = "I" Then
```

```
S = Mid(st, 2, 4)
```

```
Text1.Text = S + " " + Str(l)
```

```
ntu1 = Val(S)
```

```
If ntu1 > 900 Then
```

```
    ntu = 0
    ALARMA = "BAJO"
End If
If ntu1 > 700 And ntu1 < 900 Then
    ntu = 4
    ALARMA = "MEDIO BAJO"
End If
If ntu1 > 520 And ntu1 < 690 Then
    ntu = 8
    ALARMA = "MEDIO"
End If
If ntu1 > 100 And ntu1 < 350 Then
    ntu = 16
    ALARMA = "MEDIO ALTO"
End If
If ntu1 < 100 Then
    ntu = 40
    ALARMA = "ALTO"
End If
Label2.Caption = ntu
Text2.Text = ALARMA
End If
End If
```

```
Private Sub Timer2_Timer()  
    Dim CELDASTR As String  
    Dim objExcel As Object 'Excel.Application  
    'Una variable de tipo Libro de Excel  
    Dim xLibro As Object 'Excel.Workbook  
    Dim Col As Integer, Fila As Integer  
  
    Set objExcel = CreateObject("Excel.Application")  
    Set xLibro = objExcel.Workbooks.Open(App.Path + "\ntu.xls")  
    'Hacemos el Excel Visible  
    objExcel.Visible = False  
    With xLibro  
        'Hacemos referencia a la Hoja  
        With .Sheets(1)  
            CELDASTR = .Cells(1, 125)  
            celda = Val(CELDASTR)  
            If celda = 0 Or celda > 65535 Then celda = 1  
            celda = celda + 1  
            CELDASTR = .Cells(1, 126)  
            celda1 = Val(CELDASTR)  
            If celda1 = 0 Or celda1 > 65535 Then celda1 = 1  
            If celda1 = 0 Then celda1 = 1  
            If celda = 60000 Then  
                celda1 = celda1 + 4  
                celda = 1  
            End If  
        End With  
    End With  
End Sub
```

```
'Text6.Text = Str(celda) + " " + Str(celda1)
    .Cells(1, 125) = Str(celda)
        .Cells(1, 126) = Str(celda1)

    .Cells(celda, celda1) = Time$
    .Cells(celda, celda1 + 1) = Date$
    .Cells(celda, celda1 + 2) = Str(ntu)
    .Cells(celda, celda1 + 3) = ALARMA
End With
End With
xLibro.save
xLibro.Close ' SaveChanges:=True
objExcel.Quit
'Eliminamos los objetos si ya no los usamos
Set objExcel = Nothing
Set xLibro = Nothing
End Sub
```



