



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE**

**INGENIERO ELECTRÓNICO CON MENCIÓN EN  
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA  
POTABILIZACIÓN DE AGUA MEDIANTE ESTERILIZADOR  
ULTRAVIOLETA MONITOREADO DE FORMA REMOTA EN LA  
PARROQUIA PUNÍN.**

**AUTOR**

**MILTON EFRAIN GUAIRACAJA LEMA**

**TUTOR**

**LENIN ESTUARDO CEVALLOS ROBALINO, PhD.**

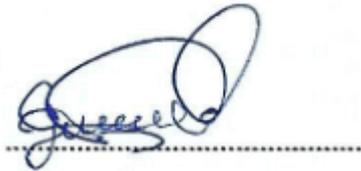
**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2021**

## CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Yo, Milton Efrain Guairacaja Lema autor del presente trabajo autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son exclusivamente responsabilidad el autor.

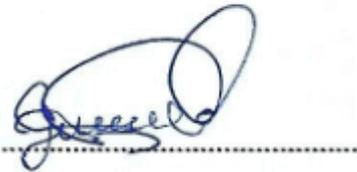


Milton Efrain Guairacaja Lema  
C.L: 0605610542

## CERTIFICACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo , Milton Efrain Guairacaja Lema con documento de identificación N° 0605610542, manifesté mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del trabajo de titulación intitulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA MEDIANTE ESTERILIZADOR ULTRAVIOLETA MONITOREADO DE FORMA REMOTA EN LA PARROQUIA PUNÍN.”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que realizo la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Milton Efrain Guairacaja Lema  
C.L: 0605610542

## CERTIFICACIÓN DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Lenin Estuardo Cevallos Robalino, **PhD**, expreso que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA MEDIANTE ESTERILIZADOR ULTRAVIOLETA MONITOREADO DE FORMA REMOTA EN LA PARROQUIA PUNÍN**”, realizado por el estudiante Milton Efrain Guairacaja Lema con cedula de ciudadanía 0605610542 obteniendo un producto que cumple con los objetivos del diseño de aprobación, informe final, y además los requisitos estipulados por la Universiada Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

LENIN  
ESTUARDO  
CEVALLOS

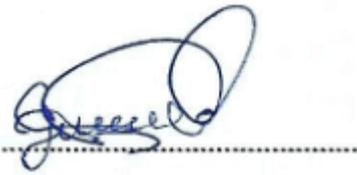
Firmado digitalmente  
por LENIN ESTUARDO  
CEVALLOSROBALINO  
Fecha: 2021.05.31

LENIN ESTUARDO CEVALLOS ROBALINO

Lenin Estuardo Cevallos Robalino, **PhD**.  
**Tutor de trabajo de titulación**

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo Milton Efrain Guairacaja Lema con cedula de Ciudadanía 06054610542 estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana con sede en Guayaquil, expreso que la responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación pertenece meramente y es prioridad intelectual de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.



Milton Efrain Guairacaja Lema  
C.L: 0605610542

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación está dedicado inicialmente a mi Dios y segundo a mis padres Segundo Guairacaja y María Lema quienes me han conducido y apoyado durante todo el proceso de mi carrera para culminar y ser un profesional, también quiero dedicar este proyecto a mis hermanos que con toda la dedicación si se puede lograr por último a mis compañeros que estuvieron desde el inicio y a los que se unieron en el camino que fueron de gran ayuda y de compañía durante todo el proceso de mi carrera.

**Milton Efrain Guairacaja Lema.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente agradezco a mi Dios, que me brinda Salud, vida, y por cuidarme y darme sabiduría para culminar mi carrera logrando superar cada obstáculo que se me han presentado, a mis padres de la misma manera por su apoyo incondicional tanto económico y moralmente de igual forma a mis hermanos, y por ultimo agradecer a mis docentes de la carrera de ingeniería electrónica por sus enseñanzas en las aulas y brindas sus experiencias en los laboratorios aportando con un granito de arena a mi formación profesional.

**Milton Efrain Guairacaja Lema.**

## RESUMEN

Las comunidades rurales sufren de la falta de acceso al agua potable sus principales fuentes de consumo son las vertientes por tal razón en este trabajo investigamos un novedoso sistema de purificación de agua utilizando la radiación UVC donde se construye un reactor UV con material inoxidable tomando los parámetros más importantes como es las especificaciones mecánicas, eléctricas y caudal de exposición utilizando la lámpara que emiten una longitud de onda de 240 a 280 nm, para desinfectar está cerca de los 253.7 nm debido a que es capaz de inactivar tales como virus, hongos, bacterias, algas, entre otros, a menor distancia del agua del punto de la radiación mayor es la intensidad por lo tanto la desinfección es eficiente.

El prototipo diseñado también cuenta con un sistemas automática y monitoreo de forma remota para saber la calidad de agua, mediante los módulos, como el controlador Arduino mega 2560 así como el módulo de comunicación GSM/GPR mediante la cual se envían datos medidos al internet con los respectivos sensores como el pH, conductividad y medidor de intensidad UV que son visualizados mediante una página web además los usuarios tienen el conocimiento si el agua esta apto para el consumo mediante un mensaje SMS que llega como aleta a sus teléfonos móviles.

los resultados obtenidos muestran que el prototipo implementado permite potabilizar el agua de una manera eficiente, con capacidad de 3.02 litros por segundo pasando de forma constante el flujo de agua por el reactor, el nivel de pH medido fue de 7,3 unidades, turbidez alcanzada es de 2.56 NTU, la concentración TDS fue de 373 mg/L, respecto al análisis microbiológico dando los resultados de forma óptimos para el consumo humano.

**Palabras claves:** Luz ultravioleta, Reactor UV

## ABSTRACT

Rural communities suffer from lack of access to drinking water, their main sources of consumption are the springs, for this reason in this work we investigate a novel water purification system using UVC radiation where a UV reactor is built with stainless material taking the most important parameters such as mechanical and electrical specifications and exposure flow rate using the lamp that emit a wavelength of 240 to 280 nm, to disinfect is close to 253.7 nm because it is able to inactivate such as viruses, fungi, bacteria, algae, among others, the shorter the distance of the water from the point of radiation, the higher the intensity, therefore the disinfection is efficient.

The designed prototype also has an automatic and remote monitoring system to know the water quality through the modules, such as the Arduino mega 2560 controller as well as the GSM/GPRS communication module through which measured data is sent to the Internet with the respective sensors such as pH, conductivity and UV intensity meter that are displayed through a web page and users also have the knowledge if the water is fit for consumption through an SMS message that arrives as a flap to their cell phones.

The results obtained show that the implemented prototype allows to make the water drinkable in an efficient way, with a capacity of 3,021 liters per second passing constantly the water flow through the reactor, the pH level measured was 7.3 units, turbidity reached is 1 NTU, the TDS concentration was 240 mg/L, regarding the microbiological analysis giving the results in an optimal way for human consumption.

**Key words:** Ultraviolet light, UV reactor.

## ABREVIATURA

**UV:** Ultravioleta.  
**GSM:** Sistema Global de Comunicaciones Móviles.  
**GPRS:** Servicio General de Paquetes vía Radio.  
**SMS:** Servicio de Mensajes Cortos.  
**pH:** potencial Hidrógeno.  
**l/s:** Litros por segundo.  
**nm:** nano metro.  
**cm:** centímetros.  
**ADN:** Ácido Desoxirribonucleico.  
**ARN:** El ácido ribonucleico.  
**mV:** milivoltios.  
**OMS:** Organización Mundial de la Salud.  
**TDS:** Solidos Disueltos Totales.  
**PPM:** Partes Por Millón.  
**mg/l:** miligramos por litro.  
**SDA:** System Data.  
**SCL:** pulsos de reloj que sincronizan el sistema.  
**TX:** Trasmisión.  
**RX:** Recepción.  
**RAM:** Memoria de Acceso Aleatorio.  
**UART:** Transmisor-Receptor Asíncrono Universal.  
**LCD:** Una pantalla de cristal líquido.  
**I2C:** Inter integrated circuits.  
**EEPROM:** Programable y borrrable eléctricamente.  
**USB:** Bus universal en serie.  
**PWM:** Modulación de ancho de pulso.  
**Mpa:** Megapascal.  
**W:** Watts.  
**mW:** miliwatts.  
**NMP:** Número más Probable.  
**RS232:** Puerto serial.  
**EC:** Electro conductividad.  
**SIM:** Módulo de identificación de abonado.  
**HTML:** lenguaje de marcado de hipertexto.  
**IoT:** Internet de las cosas.  
**AT:** Atención.  
**UFC/ml:** Unidades formadoras de colonias.  
**NTU:** Unidad de Turbidez Nefelométrica.

# Tabla de contenido

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA .....	II
CERTIFICACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	III
CERTIFICACIÓN DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD .....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTOS .....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT .....	IX
ABREVIATURA .....	X
ÍNDICE FIGURAS .....	XIII
FIGURAS DE ANEXO .....	XIV
ÍNDICE TABLAS .....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>18</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....	18
1.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES.....	18
1.3 DELIMITACIÓN .....	19
1.4 FORMULACIÓN DE PROBLEMA.....	19
1.5 OBJETIVOS .....	19
1.5.1 <i>Objetivos Generales:</i> .....	19
1.5.2 <i>Objetivos Específicos:</i> .....	19
1.6 JUSTIFICACIÓN .....	20
1.7 HIPÓTESIS .....	20
1.8 VARIABLES E INDICADORES .....	21
1.9 METODOLOGÍA .....	21
1.10 POBLACIÓN .....	21
1.11 MUESTRA .....	21
1.12 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA .....	21
1.12.1 <i>Beneficiarios</i> .....	21
1.11.2 <i>Impactos</i> .....	22
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>23</b>
2.1 ANTECEDENTES. ....	23
2.2 MARCO TEÓRICO.....	23
2.3 DESINFECCIÓN DE AGUA MEDIANTE LA LUZ UV.....	24
2.3.1 <i>Espectro Electromagnético de la luz UV</i> .....	24
2.3.2 <i>Proceso para tratamiento de agua mediante luz UV</i> .....	25
2.3.3 <i>Tipos de Lámparas UV</i> .....	25
2.3.4 <i>Tipos de Reactores UV</i> .....	25
2.4 INACTIVACIÓN DE MICROBIANA POR LUZ UV .....	26
2.5 MEDICIÓN DE CALIDAD DE AGUA.....	28
2.5.1 <i>Sensores</i> .....	29
2.5.2 <i>Parámetros de calidad a agua a medir</i> .....	29
2.5.3 <i>Sensor de pH</i> .....	29
2.5.4 <i>Sensor de conductividad y turbidez.</i> .....	30
2.5.5 <i>Sensor UVM-30A</i> .....	31
2.6 MICROCONTROLADOR .....	32

2.6.1 Características del Arduino mega 2560 .....	33
2.7 SISTEMA DE COMUNICACIONES .....	34
2.7.1 Shield GPRS/GSM .....	34
2.7.2 Arquitectura GPRS/GSM .....	35
2.7.3 Red GSM .....	36
2.7.4 Acceso a Internet .....	37
2.7.5 Protocolos de GSM/GPRS .....	37
2.7.6 Canal de operación de GPRS/GSM .....	38
2.7.7 Tasa de Trasmisión de GPRS .....	38
2.7.8 Comandos de configuración AT Shield GPRS/GSM .....	39
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>41</b>
3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL PROTOTIPO. ....	41
3.1.1 Demanda de agua.....	41
3.1.2 Intensidad de la lámpara UV .....	43
3.1.3 Concentración de microorganismos .....	44
3.1.3.1 Análisis de resultados obtenidos de parámetros microbiológicos.....	44
3.1.3.2 Análisis de los resultados parasitológico .....	44
3.2 DISEÑO Y CALCULO GENERAL DE PROTOTIPO .....	46
3.2.1 Intensidad de UV del reactor .....	47
3.2.2 Dosificación UV .....	48
3.2.2.1 Calculo total de dosis UV .....	48
3.2.2.2 Tiempo de Exposición .....	49
3.2.3 Análisis para el diseño del sistema de potabilización .....	49
3.2.4 Software autodesk inventor.....	50
3.2.5 Construcción físico del prototipo. ....	51
3.3 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DEL HARDWARE DEL PROTOTIPO. ....	54
3.3.1 Diagrama de bloques de adquisición y procesamiento de datos.....	55
3.3.2 Modulo de sensores.....	56
3.3.3 diagrama de flujo de los sensores.....	63
3.3.4 Modulo de comunicación.....	64
3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÓDULOS. ....	64
3.4.1 funcionamiento del módulo I2C .....	65
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>67</b>
4.1 MONITOREO.....	67
4.2 TECNOLOGÍA IOT.....	68
4.2.1 Componentes de los dispositivos IoT. ....	68
4.2.1.1 Microcontroladores. ....	68
4.2.1.2 Sensores. ....	69
4.2.1.3 Tecnología de red. ....	69
4.3 PLATAFORMA IOT.....	70
4.3.1 Plataforma software: dweet.io y freeboard.io .....	70
4.3.1.1 Dweet.io .....	70
4.3.1.2 freeboard.io.....	72
4.3.2 Aplicación IoT usando Arduino + freeboard.io.....	73
4.4 ENVÍO DE ALETAS MEDIANTE MENSAJES SMS. ....	76
4.4.1 Comandos AT para envío de mensajes SMS. ....	76
4.4.2 Diagrama de flujo de envío de aletas. ....	76
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>78</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>78</b>
5.1 INTRODUCCIÓN .....	78
5.2 BANCO DE PRUEBAS .....	78
5.2.1 Análisis del funcionamiento del prototipo .....	78
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>84</b>

RECOMENDACIONES .....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86
ANEXOS .....	89

## ÍNDICE FIGURAS

<b>Fig.1 1</b> Parroquia Punín [3].....	22
<b>Fig.2 1</b> Espectro UV y curva de inactivación de gérmenes [9]. .....	25
<b>Fig.2 2</b> Reactor Cerrado [13]. .....	26
<b>Fig.2 3</b> Reactor abierto [9]. .....	26
<b>Fig.2 4</b> Representación artística del daño al ADN inducido por rayos UV [11]. .....	27
<b>Fig.2 5</b> Parámetros de medición de calidad de agua [2]. .....	28
<b>Fig.2 6</b> Sensor pH [Fuente: Autor]. .....	29
<b>Fig.2 7</b> Sensor de conductividad y turbidez [Fuente: Autor]. .....	30
<b>Fig.2 8</b> Sensor UVM-30 vista frontal y superior [Fuente: Autor]. .....	31
<b>Fig.2 9</b> Arduino mega 2560 [14]. .....	34
<b>Fig.2 10</b> Características del Arduino Mega 2560 en comparación con los de más microcontroladores [15]. .....	34
<b>Fig.2 11</b> Modulo GPRS/GSM [Fuente: Autor]. .....	35
<b>Fig.2 12</b> Arquitectura Red GPRS [16]. .....	36
<b>Fig.2 13</b> Protocolos tecnología GSM/GPRS [17]. .....	37
<b>Fig.3 1</b> Reservorio secundario [Fuente: Autor]. .....	42
<b>Fig.3 2</b> Reservorio Principal [Fuente: Autor]. .....	42
<b>Fig.3 3</b> Red de distribución principal [Fuente: Autor]. .....	43
<b>Fig.3 4</b> Porcentaje de presencia o ausencia de parásitos [2]. .....	44
<b>Fig.3 5</b> Dosis UV [Fuente: Autor]. .....	48
<b>Fig.3 6</b> Diseño del Reactor UV cerrado [Fuente: Autor]. .....	50
<b>Fig.3 7</b> Reactor UV-C cerrado [Fuente: Autor]. .....	51
<b>Fig.3 8</b> Vista supero y posterior de Reactor UV-C [Fuente: Autor]. .....	51
<b>Fig.3 9</b> Funciones de la lámpara UV-C [20]. .....	52
<b>Fig.3 10</b> Lámpara utilizada en el prototipo [20]. .....	52
<b>Fig.3 11</b> Colocación de lámpara UVC dentro del reactor. [Fuente: Autor]. .....	53
<b>Fig.3 12</b> Instalación de lámpara dentro del Reactor [Fuente: Autor]. .....	53
<b>Fig.3 13</b> Prueba de la lámpara dentro del reactor [Fuente: Autor]. .....	54
<b>Fig.3 14</b> Protección del reactor de los terminales de lampara colocadas [Fuente: Autor]. .....	54
<b>Fig.3 15</b> Diagrama de bloques del hardware [Fuente: Autor]. .....	55
<b>Fig.3 16</b> Módulos de Hardware [Fuente: Autor]. .....	56
<b>Fig.3 17</b> Esquema de módulo de Hardware [Fuente: Autor]. .....	56
<b>Fig.3 18</b> Indece de UV [22]. .....	57
<b>Fig.3 19</b> Esquema de conexión del sensor UV [Fuente: Autor]. .....	58
<b>Fig.3 20</b> Niveles de TDS de agua [23]. .....	58
<b>Fig.3 21</b> Sensor de turbidez y conductividad [24]. .....	59

<b>Fig.3 22</b> Esquema de conexión sensor turbidez [Fuente: Autor].....	60
<b>Fig.3 23</b> Niveles de pH de agua [25]. .....	60
<b>Fig.3 24</b> Solución Calibradora de PH calibración de Medidor de PH [27]. .....	61
<b>Fig.3 25</b> Recta de calibración del sensor de pH [Fuente: Autor].....	62
<b>Fig.3 26</b> Diagrama de conexión del sensor pH [Fuente: Autor].....	63
<b>Fig.3 27</b> Diagrama de Flujo de los sensores. [Fuente: Autor]. .....	63
<b>Fig.3 28</b> Modulo de comunicación [Fuente Autor]. .....	64
<b>Fig.3 29</b> Caja de control y monitoreo [Fuente: Autor]. .....	65
<b>Fig.3 30</b> Diagrama de conexión de LCD y I2C, Arduino [28]. .....	65
<b>Fig.3 31</b> Comunicación I2C [Fuente: Autor].....	65
<b>Fig.3 32</b> Prototipo [Fuente: Autor]. .....	66
<b>Fig.4 1</b> Diseño de la Pagina [Fuente: Autor]. .....	67
<b>Fig.4 2</b> Tecnología IoT [29].....	68
<b>Fig.4 3</b> Señal analógica y digital [29]. .....	69
<b>Fig.4 4</b> envío de datos de sensores mediante el método POST [Fuente: Autor]. .....	71
<b>Fig.4 5</b> Datos registrados por dweet.io [Fuente: Autor] .....	71
<b>Fig.4 6</b> Planes de contratación de freeboard.io [30]. .....	72
<b>Fig.4 7</b> Envío de datos de los sensores a freeboard.io [Fuente: Autor]. .....	73
<b>Fig.4 8</b> Registro en la plataforma freeboar.io [Fuente: Autor]. .....	73
<b>Fig.4 9</b> Creación de Panel de visualización de la variable (pH, EC, Turbidez, UVC) [Fuente: Autor].....	74
<b>Fig.4 10</b> Recepción de datos de dwee.io a la plataforma freeboard.io [Fuente: Autor]. .....	74
<b>Fig.4 11</b> Resultado de visualización en la página freeboard.io [Fuente: Autor].....	75
<b>Fig.4 12</b> Diseño de la plataforma IoT en freeboard.io [Fuente: Autor].....	75
<b>Fig.4 13</b> Diagrama de Flujo de envío de alertas [Fuente: Autor]. .....	77
<b>Fig.4 14</b> Código para enviar las alertas [Fuente: Autor].....	77
<b>Fig.5 1</b> Análisis de funcionamiento del reactor UVC [Fuente: Autor].....	78
<b>Fig.5 2</b> Prueba de funcionamiento de lampara UVC dentro del reactor [Fuente: Autor]. .....	79
<b>Fig.5 3</b> Sensor UV [Fuente Autor].....	79
<b>Fig.5 4</b> Mensajes de aletas mediante SMS [Fuente: Autor].....	80
<b>Fig.5 5</b> Análisis de eficiencia el prototipo [Fuente: Autor]. .....	82

## FIGURAS DE ANEXO

<b>Fig.A 1</b> Plano del diseño del Reactor [Fuente: Autor].....	89
<b>Fig.A 2</b> Construcción del Prototipo [Fuente: Autor]. .....	90
<b>Fig.A 3</b> Colocación de la lámpara UV dentro del Reactor [Fuente: Autor]. .....	90
<b>Fig.A 4</b> Final de la Construcción del reactor UV [Fuente: Autor]. .....	91
<b>Fig.B 1</b> Montaje de sensores de Calidad de Agua [Fuente: Autor]. .....	91
<b>Fig.B 2</b> Colocación del Sensor UV [Fuente: Autor].....	92
<b>Fig.B 3</b> Montaje de módulos de comunicación [Fuente: Autor]. .....	92
<b>Fig.B 4</b> Montaje de dispositivos Electrónicos [Fuente: Autor]. .....	93

<b>Fig.B 5</b> Montaje de teclado matricial, LCD [Fuente: Autor].....	93
<b>Fig.C 1</b> Prueba de Funcionamiento del Reactor [Fuente: Autor]. .....	94
<b>Fig.C 2</b> Prueba de funcionamiento de la Lámpara UV [Fuente: Autor].....	94
<b>Fig.C 3</b> Prueba de encendido de la lámpara UV dentro del reactor [Fuente: Autor]. 95	
<b>Fig. D 1</b> Declaración de variables del sensor UV [Fuente: Autor].....	95
<b>Fig. D 2</b> Declaración de variables del sensor turbidez y conductividad [fuente: Autor]. .....	95
<b>Fig. D 3</b> Declaración de variables del sensor pH [Fuente: Autor].....	96
<b>Fig. D 4</b> Programación del sensor turbidez y conductividad [Fuente: Autor]. .....	96
<b>Fig. D 5</b> Programación del sensor UV [Fuente: Autor]. .....	96
<b>Fig. D 6</b> Programación del sensor pH [Fuente: Autor]. .....	97
<b>Fig. D 7</b> Activación y desactivación del prototipo [Fuente: autor].....	97
<b>Fig. D 8</b> programación de envío de aletas SMS [Fuente: Autor].....	98
<b>Fig. D 9</b> Establece conexión GPRS par envío de datos [Fuente: Autor]. .....	98
<b>Fig. D 10</b> Establece la conexión con el servidor web [Fuente: Autor]. .....	99
<b>Fig.F 1</b> Reservorio secundario ingreso de agua de todas las vertientes [Fuente: Autor]. .....	100
<b>Fig.F 2</b> Reservorio primario donde se implementa el prototipo [Fuente: Autor]...	101
<b>Fig.F 3</b> Traslado del equipo al destino de implementación [Fuente: Autor]. .....	101
<b>Fig.F 4</b> Adecuación del lugar de implementación [Fuente: Autor]. .....	102
Fig.F 5 Implementación del panel del control [Fuente: Autor]. .....	102
Fig.F 6 Implementación del prototipo [Fuente: Autor].....	103
Fig.F 7 Funcionamiento del prototipo implementado [Fuente: Autor].....	103
<b>Fig. G 1</b> Muestra de agua esterilizada mediante el prototipo [Fuente: Autor]. .....	104
<b>Fig. G 2</b> Resultado de análisis microbiológica del agua potabilizada mediante el prototipo [Fuente: Autor]. .....	104

## ÍNDICE TABLAS

<b>Tabla.1 1</b> Variables del Diseño del prototipo [ Fuente: Autor].....	20
<b>Tabla.2 1</b> Dosificación para desinfectar el agua [12]. .....	28
<b>Tabla.2 2</b> Características técnicas del sensor UV .....	32
<b>Tabla.2 3</b> Descripción de pines requeridos por microcontrolador [Fuente: Autor]. .	32
<b>Tabla.2 4</b> Timeslot Burts GSM/GPRS. ....	38
<b>Tabla.2 5</b> Pasos de codificación. ....	38
<b>Tabla.2 6</b> Tazas de trasmisión GPRS .....	39
<b>Tabla.2 7</b> Comandos AT para GPRS/GSM.....	39

<b>Tabla.3 1</b>	Resultado del porcentaje de presencia o ausencia de parásitos [2].	45
<b>Tabla.3 2</b>	Radiación de energía ultravioleta necesaria para destruir hasta en un 99.99% de los microorganismos patógenos [18].	46
<b>Tabla.3 3</b>	Valores de irradiancia según intensidad de la lámpara [19].	46
<b>Tabla.3 4</b>	Niveles de Índice UV [21].	57
<b>Tabla.3 5</b>	Niveles de conductividad de cada tipo de agua. [Fuente: Autor].	59
<b>Tabla.3 6</b>	Características del sensor pH [26].	61
<b>Tabla.3 7</b>	Resultado del sensor pH [26].	62
<b>Tabla.5 1</b>	Prueba N1 de calidad de agua del prototipo [Fuente: Autor].	80
<b>Tabla.5 2</b>	Prueba N2 de calidad de agua del prototipo [Fuente: Autor].	81
<b>Tabla.5 3</b>	Pruebas de Alertas del prototipo [Fuente: Autor].	81
<b>Tabla.5 4</b>	Resultado de prueba microbiológica del agua [Fuente: Autor].	83

## Introducción

El presente trabajo tiene el objetivo de diseñar e implementar un prototipo electrónico para potabilizar el agua mediante la radiación ultravioleta que tiene como alternativa viable, sostenible tecnológica, en comparación con los tratamientos de potabilización de agua convencionales, donde se diseña un Reactor UV de desinfección implementando los respectivos sensores y la lámpara ultravioleta, de esta manera cuando el agua no tratada pase por este reactor UV, sea capaz de potabilizar el agua, matando los microorganismos tales como hongos, virus, bacteria y otros elementos presentes en el agua, de esta manera sea el agua apta para el consumo.

De igual forma se implementan los sensores que se basa en los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua como (pH, conductividad, turbidez), mediante la tecnología GSM/GPRS para su monitoreo que envía datos a una página web con el fin de realizar un monitoreo remoto constante por el personal administrativo de agua desde cualquier lugar y mediante un mensaje SMS envíe a los usuarios si el agua esta apto para el consumo.

Este proyecto contiene V capítulos:

**Capítulo I.-** se analiza el planteamiento de problema de agua entubada en la Parroquia Punín, así mismo los objetivos, justificación.

**Capítulo II.-** se analizan la historia sobre la potabilización mediante la luz ultravioleta de su origen, revisión de bibliografías referentes al tema, así como los antecedentes del agua al igual que las investigaciones de los controladores, sensores que acoplan a los módulos para las múltiples aplicaciones del prototipo para potabilizar el agua y sistemas de comunicaciones para el monitoreo remota.

**Capítulo III.-** Metodología: se describen los pasos y las diferentes técnicas de investigación para el diseño del prototipo de esterilización para potabilizar el agua.

**Capítulo IV.-** se desarrolla la interfaz para el monitoreo de la calidad de agua del prototipo de forma remota mediante una página web, que trabaja con la tecnología GSM/GPRS que envían datos a Internet y las alertas correspondientes del prototipo mediante el mensaje SMS.

**Capítulo V.-** Análisis y Resultados del prototipo obtenidas del presente trabajo.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento de problema**

Las enfermedades infecciosas y parasitarias debido al consumo de agua contaminada se estiman en un 80% a nivel mundial, esto debido a la falta de desinfección o al mal funcionamiento de los servicios sanitarios, originando problemas en la salud pública [1].

Las comunidades rurales sufren de la falta de acceso al agua potable sus principales fuentes de consumo son las vertientes, posos, y el agua de lluvia recolectada. Sin embargo, su calidad no cumple con los estándares del agua potable por lo que presenta un grave riesgo para la salud del consumo humano. Como es el caso de la Cabecera Parroquial de Punín que cuenta aproximadamente con 220 usuarios los cuales 10 son instituciones pública y privadas como colegios, escuelas, iglesias, centro de salud, Junta Parroquial que no tienen un sistema de potabilización de agua, el consumo es directo desde las vertientes.

El proceso de recolección de agua de la cabecera Parroquial de Punín es lo siguientes existen cuatro vertientes que están ubicadas en los páramos de Agua Azul, Shaguil, Bacun, Chulcunag de donde se recolecta el recurso hídrico, luego son depositados en unos tanques pequeños de captación donde se filtra el líquido de forma casera y es llevado mediante un sistema de agua entubada por red pública hasta el tanque principal de reservorio para ser distribuido a todo los moradores de dicha localidad sin ningún proceso de desinfección y purificación, por lo que no se conoce la calidad de agua que se consume.

Según el análisis parasitológico de agua de la Parroquia Punín realizado por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no cumple con los estándares para ser consumible por los usuarios ya que se encontró parásitos que contaminan el agua como: Entamoeba coli, Entamoeba hytolitica, Chilomastix mesnili, Ascaris lumbricoide, y Giardia lamblia, implicando que el agua no es apta para el consumo ya que se está convirtiendo en un vehículo para la transición de parásitos, a la población [2].

#### **1.2 Importancia y alcances**

Este proyecto tiene como propósito ayudar a las comunidades rurales en la provincia de Chimborazo cantón Riobamba Parroquia Punín con un prototipo de innovación e impacto de bajo costo para potabilizar el agua, el prototipo cuenta también con un sistema de monitoreo remoto mediante la página web con sistemas de alertas mediante mensajes SMS dando a conocer la calidad de agua que se está consumiendo, hoy en día la tecnología va avanzado a unos pasos agigantados es importante realizar un cambio a tecnología, para brindar una mejor operación de sistemas potabilización de aguas sin ningún tipo de químicos que en muchas ocasiones no son efectivas y los costos son muy elevados.

### **1.3 Delimitación**

#### **Delimitación temporal.**

El proyecto de diseño e implementación tendrá una duración de 8 meses desde diciembre 2020 al julio 2021, previamente tendrá un estudio aproximado de 2 meses de recopilación de información, un mes para el diseño y otros meses para implementar, realizar pruebas y evaluar los resultados.

#### **Delimitación espacial.**

El proyecto propuesto se encuentra dentro de la Parroquia Punín que cuenta con 3 barrios los cuales son, barrio San Juna, barrio Imaculada y barrio Chuipe, Perteneciente al Cantón Riobamba Provincia Chimborazo.

#### **Delimitación Académica.**

El presente proyecto cumple con todos los requisitos establecidos por la Universidad Politécnica Salesiana entorno al grado investigativo y esquemas de presentación; para esto se sustentará mediante conceptos y teorías sobre el diseño de proyectos de factibilidad, bibliografías, libros, textos, adicionalmente complementaran con el desarrollo de aspectos técnicos entorno al proyecto investigativo.

### **1.4 Formulación de Problema**

#### **Pregunta General**

¿Se podrá diseñar e implantar un prototipo de potabilización de agua mediante la esterilización ultravioleta monitoreada de forma remota?

#### **Pregunta Especifica.**

- ¿Cómo se desarrollará el diseño e implantación del prototipo de potabilización de agua mediante esterilizador ultravioleta?
- ¿Qué equipos de control se aplicará en el sistema de desinfección de agua mediante esterilizador ultravioleta?

### **1.5 Objetivos**

#### **1.5.1 Objetivos Generales:**

Diseñar e implementar un prototipo para la potabilización de agua mediante esterilizador ultravioleta monitoreada de forma remota en la Parroquia Punín.

#### **1.5.2 Objetivos Específicos:**

- Diseñar e implementar un prototipo para la potabilización de agua mediante esterilizador UV que puede tratar caudales de hasta 3.02l/s.

- Implementar los sensores y dispositivos electrónicos adecuados que ajusten a los requerimientos del sistema.
- Incorporar un sistema de aviso mediante la tecnología GSM al usuario, que envíen datos relevantes de sistema de potabilización de agua.
- Implementar un módulo electrónico que obtenga la medición de los parámetros de la calidad de agua entubada.

## 1.6 Justificación

Hoy en día existen diversos tipos de desinfección como es la microfiltración, procedimientos químicos, cloro libre, mono cloramina, dióxido de cloro entre otros empleados en el agua para el consumo humano, este tipo de purificación mediante químicos si la dosificación es inadecuada el riesgo implica que puede causar otras enfermedades en los seres humanos.

La importancia del proyecto es realizar un sistema que pueda potabilizar el agua entubada que consumen los moradores de la Parroquia Punín mediante un esterilizador ultravioleta que son efectivas en segundos, y que permita monitorear con la ayuda de sensores y actuadores al sistema a su vez comunicar su estado por medio de mensaje SMS a los usuarios.

El presente proyecto tiene como utilidad de ayudar a los moradores de dicho sector que no cuentan con un sistema de potabilización de agua, mejorar la calidad de vida de los moradores utilizando diferentes recursos como el software y hardware diseñados para la correcta funcionabilidad, indicar directamente por medio de SMS y en tiempo real los diferentes procesos que ejecute el sistema.

## 1.7 Hipótesis

Al diseñar e implementar de un prototipo para potabilización de agua mediante esterilizador ultravioleta monitoreado de forma remota en la Parroquia Punín, se reducen la contaminación del medio ambiente, se reducen los gastos al comprar de agua embotellada.

**Tabla.1 1** Variables del Diseño del prototipo [ Fuente: Autor].

Variables	Dimensión	Indicadores
<b>Prototipo de Desinfección.</b>	Proceso de Diseño	- Medición - Evaluación - Diseño
	Material del Sistema de Desinfección.	- Cotización - Compra
	Equipos de aplicación.	- Investigación - Evaluación -Comprobación

## **1.8 Variables e Indicadores**

Las variables obtenidas de la hipótesis se muestran en el siguiente Tabla 1.1.

## **1.9 Metodología**

Durante el desarrollo del proyecto se utilizará el método descriptivo, experimental, documental, científicos, histórico-lógico porque se describirá el diseño de un sistema de potabilización de agua, para realizar un análisis similar que se han implementado en diferentes organizaciones, instituciones, con la finalidad de determinar la debilidades y fortalezas y a partir de estas referencias diseñar un sistema más seguro y confiable.

La investigación es de forma cuantitativa ya que tendremos que explorar los fenómenos que origina el presente trabajo obteniendo resultados cuantificables, obteniendo datos y resultados reales de su aplicación.

## **1.10 Población**

El presente proyecto está dirigido a los habitantes de la Parroquia Punín que cuenta con tres barrios, barrio san Juan, Imaculada, y Chuipe

## **1.11 Muestra**

Porcentaje de los usuarios de la Parroquia Punín que evaluarán el uso del prototipo para la potabilización de agua

## **1.12 Descripción de la Propuesta**

### **1.12.1 Beneficiarios**

Contribuir a la Parroquia Punín con un sistema de potabilización de agua para todos los usuarios, con un sistema de esterilización UV que es efectivo en la desinfección que no es un proceso químico y no produce ningún residuo, este sistema impide que los microorganismos se reproduzcan dañando su ácido nucleico, de esta manera obteniendo el agua desinfectada apta para el consumo humano además que el usuario pueda tener conocimiento si el agua es apta para el consumo mediante un mensaje SMS que envía el sistema de potabilización y los administradores de agua tengan monitoreo del prototipo mediante una página web.



**Fig.1 1** Parroquia Punín [3].

### **1.11.2 Impactos**

La Parroquia Punín tendrá un sistema de potabilización de agua mediante la luz ultravioleta que reduce las enfermedades infecciosas, parasitarias y el uso des adecuado de productos químicos que puede contraer otras enfermedades, de la misma forma reduce el costo del usuario al comprar agua embotella.

Al tener un monitoreo de forma remota facilita a obtener mucha información del sistema, de los factores de calidad agua, pH, conductividad, mediante una aplicación web, y dando a conocer al usuario mediante un mensaje SMS si el agua es apta para el consumo y tener mayor facilidad para planeación de estrategia por parte de los profesionales de este sector.

## CAPITULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Antecedentes.

La desinfección eficaz del agua es extremadamente importante, significa reducir o suprimir todos los organismos microbianos como hongos, bacterias, virus algas, entre otros reduciendo a un porcentaje de 90% a 99% de esta manera asegurar el agua que sea apto para el consumo humano con el fin de prevenir las enfermedades transmitidas mediante el agua.

En consecuencia, se realizó una revisión sistemática de antecedentes similares mediante tesis, revistas, literatura y otras fuentes de los diversos investigadores con el mismo objetivo de estudio en la potabilización de agua mediante la radiación ultravioleta.

#### 2.2 Marco Teórico

Actualmente muchas investigaciones demuestran que la luz ultravioleta es efectiva en la desinfección de agua, estas investigaciones vienen desde Blunt y Downs que han dado a conocer en año 1878 sus primeros estudios sobre los efectos germicidas de la radiación del sol. En los años 1984, 1981, 1996, fueron las primeras investigaciones para desinfectar el agua mediante la radiación ultravioleta que fueron publicados por las revistas Groocok, Schenck, USEPA [4].

La primera experimentación que se utilizó para desinfectar el agua mediante la radiación UV se llevó a cabo en Marsella, Francia en 1910. En los Estados Unidos se utilizó por primera vez en el año 1926 para potabilizar el agua en los barcos, el problema de este sistema de desinfección era muy costoso y tenía problemas de confiabilidad y operativos que retardaron mucho en su crecimiento sin embargo con el crecimiento de derivados de bajo costo como es el cloro, gas ocasionaron el retraso de la desinfección por UV hasta la década de los 1950 a partir de este año se empezó a realizar más investigación y experimentaciones que en los años 1970 dieron con las lámparas UV que pasaban a ser confiables y de vida prolongada [4].

En la actualidad en Europa y Estados Unidos utilizan esta aplicación en desinfección de agua, para fines como abastecimiento de agua, industriales de alimentos entre otros ya que este sistema no produce cambios químicos y físicos.

En 2014 se desarrolló un trabajo el cual se tituló “Diseño de un radiómetro ultravioleta, para su aplicación en modelos de radiación UV”, con el objetivo de diseñar un radiómetro ultravioleta en costos muy bajos para medir los recursos de la radiación solar, en específico el espectro que comprende a la radiación UV (300-400nm). Aplicando conocimientos de circuitos y sistemas electrónicos [5].

En 2014 se desarrollaron un trabajo el cual se tituló “Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta”, con el objetivo de eliminar todos los parásitos, microorganismos presentes en el agua y los veneficios que se obtienen mediante la desinfección de agua mediante la luz ultravioleta [4].

En 2015 se presenta la investigación titulada “Medium treatment using ultraviolet light” donde se diseña un sistema para tratar el agua mediante la luz ultravioleta, el objetivo de este sistema es reducir los reflejos de la luz ultravioleta dentro de la cámara de desinfección [6].

En 2017 se realizó una investigación en sobre el análisis prospectivo en el sector del agua, con el objetivo de identificar los desarrollos tecnológicos necesarios para innovar en los procesos de tratamiento del agua, almacenamiento y comercialización de este, se destaca la incorporación de la biotecnología en el sector.

En 2018 se desarrolló un artículo titulado “sistema electrónico que aporta a la potabilización de agua mediante electro floculación, ozonificación y radiación ultravioleta” con el objetivo de contribuir a l desarrollo sostenible respecto al acceso de agua potable para todas las personas [5].

En 2019 se Desarrolló un prototipo que se titula “Eliminación de E. coli y Pseudomona aeruginosa de agua potable usando sistema de desinfección con luz ultravioleta y oxido de titanio” con el fin de determinar las capacidades de reducción de Coliformes y Pseudomona aeruginosa, mediante el sistema de purificación [7].

## **2.3 Desinfección de Agua mediante la luz UV**

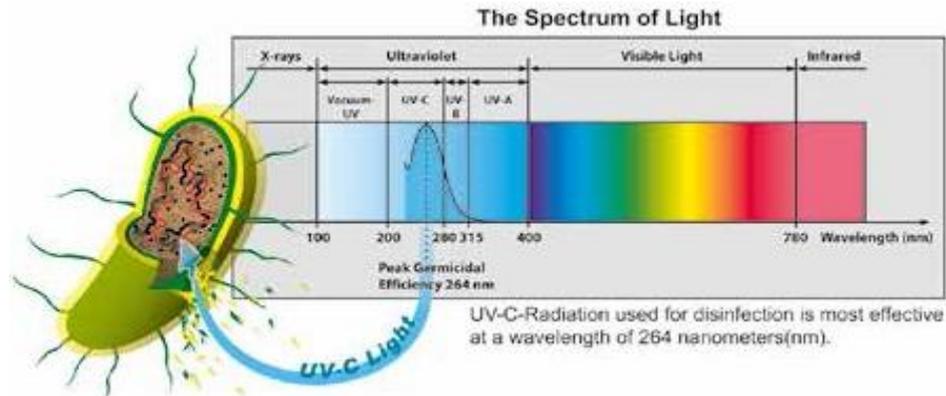
### **2.3.1 Espectro Electromagnético de la luz UV**

La luz ultravioleta es una forma de radiación electromagnética que tiene longitudes de onda más cortas que la de la luz visible, pero más largas que los rayos X. Este espectro consiste en ondas electromagnéticas que tienen frecuencias invisibles para los humanos, pero visibles para algunos insectos y pájaros. Estas frecuencias son más altas que las que el ojo humano identifica como el color violeta; por lo tanto, se llaman "ultravioleta" [8].

La radiación ultravioleta se ha utilizado con éxito en la purificación de varios medios, como aire, agua y comida. En general la radiación ultravioleta comprende longitudes de onda cercanas al pico de absorción de moléculas biológicamente significativas de ADN de proteínas entre otras, la radiación UV deber tener una longitud de onda cercana al pico de absorción para un tiempo determinado y con una potencia suficiente para destruir las impurezas como, los virus, hongos, entre otros microorganismos [6].

Los rayos UV se encuentran en un rango espectro electromagnético con una longitud de onda menor a la luz visible y mayor que los rayos X, y se compone de la radiación electromagnética en un rango de longitud de onda de 100nm y 400nm.

- Onda larga UV-Vacío en una longitud de onda entre 100 -200nm
- Onda larga UV-C en una longitud de onda entre 200 -280nm
- Onda larga UV-B en una longitud de onda entre 280 -315nm
- Onda larga UV-A en una longitud de onda entre 315 -400nm



**Fig.2 1** Espectro UV y curva de inactivación de gérmenes [9].

### 2.3.2 Proceso para tratamiento de agua mediante luz UV

La luz ultravioleta es emitida por los iones y átomos dentro de la descarga de gas de una lámpara de esta manera interactúa con los componentes del reactor ultravioleta como la lámpara, el manguito de la lámpara, las paredes del reactor, así como la sustancia líquida que se está tratando. A medida que la luz ultravioleta se propaga, interactúa con los materiales que encuentra a través de la absorción, reflexión, refracción y dispersión. Cada uno de estos fenómenos influye en la intensidad y longitud de onda de la luz ultravioleta que llega a las bacterias o compuestos químicos en el líquido [10].

### 2.3.3 Tipos de Lámparas UV

En el mercado existe varios tipos de lámparas dependiendo de la potencia y de uso

**Baja presión:** son lámparas con una longitud aproximadamente que llegan hasta los 163cm con un diámetro de 1.9 cm y las paredes de la lámpara alcanzan a una temperatura de 40 °C en su punto máximo emisión a una longitud de onda de 254nm, son utilizados generalmente para los flujos bajos que no requieren un elevado de potencia.

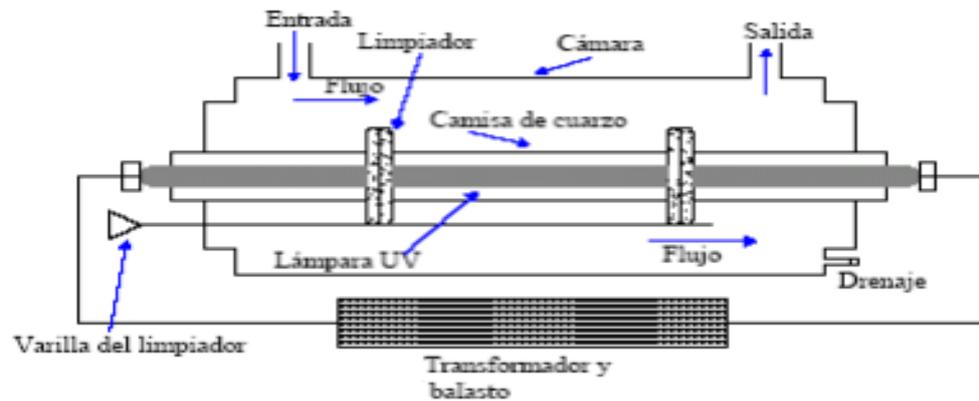
**Presión Media:** son lámparas con una longitud de 75cm y con un diámetro de 2.2 cm y las paredes de la lámpara alcanza a una temperatura aproximadamente 850 °C, son utilizados para los flujos mayores.

### 2.3.4 Tipos de Reactores UV

Los componentes principales de un sistema de desinfección UV son un reactor, lámparas de arco de mercurio y una caja de control. La fuente de radiación UV es una lámpara de arco de mercurio LP o MP con intensidades bajas o altas. Para inactivar los microorganismos la longitud de onda óptima eficazmente está en el rango de 250 a 270 nm. La intensidad de la radiación emitida por la lámpara se disipa a medida que aumenta la distancia de la lámpara. Las lámparas LP UV emiten luz esencialmente monocromática a una longitud de onda de 253,7 nm. Las longitudes estándar de las lámparas LP son de 0,75 y 1,5 metros con diámetros de 1,5 a 2,0 cm. La temperatura ideal de la pared de una lámpara es entre 35 y 50 ° C (95 y 122 ° F). [8].

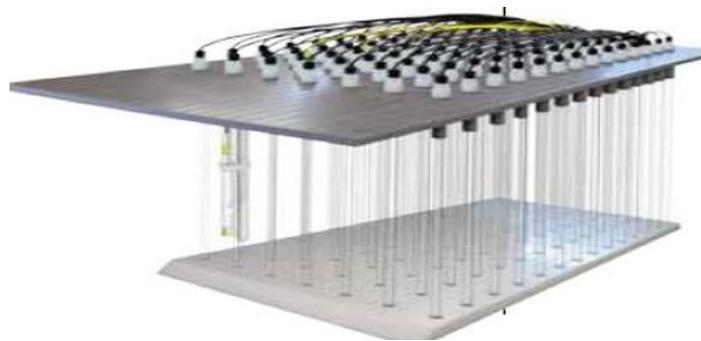
Existen dos tipos de reactores que son las más utilizadas y los estudios realizados son más eficientes en la desinfección de fluidos ya que pueden estar en un sistema en línea de tuberías a presión o por gravedad sin necesidad de bombas.

**Reactores cerrados:** este tipo de reactores se pueden instalar de forma vertical u horizontal con las entradas y salida del fluido de lados opuestos, estos sistemas generalmente se construyen en un material anticorrosivo (acero Inoxidable),



**Fig.2 2** Reactor Cerrado [13].

**Reactores abiertos:** este tipo de reactores de canales abiertos son utilizados mayormente en unos tanques reservorio grandes, en fábricas son construidos en unos materiales inoxidables o de fibra de vidrio.



**Fig.2 3** Reactor abierto [9].

El diseño de las cámaras de desinfección de fluido es muy importante que cada microorganismo reciba la radiación suficiente para ser eliminados, determinados los espacios y las reflexiones del interior del reactor.

#### **2.4 Inactivación de microbiana por luz UV**

La luz ultravioleta es letal para la mayoría de los tipos de microorganismos que se encuentran en el aire, el agua o superficies duras. Inactiva las células al dañar el ácido nucleico, evitando así la replicación de microorganismos. El ácido nucleico es ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN). La mayoría de las células tienen el núcleo compuesto por ADN bicatenario. El ADN contiene la información

necesaria para la síntesis de ARN ribosómico, de transferencia y mensajero involucrado en los procesos metabólicos de síntesis dentro de la célula [8].



**Fig.2 4** Representación artística del daño al ADN inducido por rayos UV [11].

Sin embargo, el daño del ácido nucleico no evita que la célula experimente metabolismo y otras funciones celulares. Parte del daño del ácido nucleico puede repararse mediante mecanismos enzimáticos dentro de la célula; por lo tanto, los microorganismos pueden repararse a sí mismos y volverse infecciosos nuevamente después de un cierto tiempo del tratamiento con luz ultravioleta. En consecuencia, el tratamiento con UV debe proporcionar una dosis suficiente de luz UV para garantizar que el ácido nucleico se dañe más allá de la etapa en la que se puede reparar [8].

Como [10] demostraron que este comportamiento es diferente al de matar microorganismos que ocurre cuando se utilizan desinfectantes químicos. De hecho, los desinfectantes químicos, como el dióxido, el cloro, yodo, el peróxido, destruyen y dañan las estructuras celulares que interfieren con el metabolismo, la biosíntesis y el crecimiento. El efecto germicida consiste en producir dímeros de pirimidina en el ADN o ARN microbiano, lo que dificulta la replicación del ácido nucleico evitando así la replicación de microorganismos, que se vuelven inactivos e incapaz de causar infección. El efecto de muerte máximo es producido por UV de onda corta (UV-C) a 254 nm.

Las reactivaciones de las células pueden ser más resistentes se necesita o es necesario una dosis de radiación mayor para reducir 4-log de células reactivadas, para una dosificación adecuada se sigue las ecuaciones de Ley de Chick.

$$N = N_0 e^{-kLt} \quad (\text{ec.2.4.1})$$

**Donde:**

$N_0$ = número inicial de concentración microorganismo.

$N$ = Numero de microorganismos después de la exposición a rayos UV

$L$ : numero de la intensidad de la UV

$T$ = número de tiempo de exposición de la UV

$K$ = constante de velocidad de inactivación microbiana.

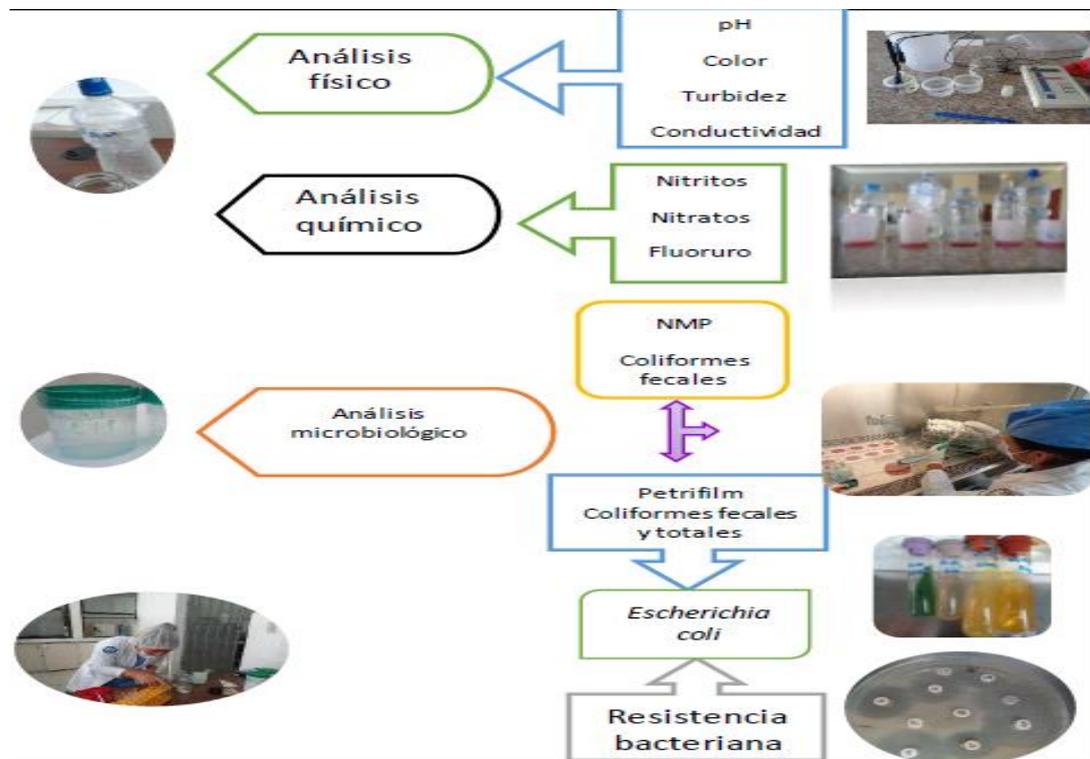
Según la fórmula la dosificación necesaria para reducir los patógenos microorganismos muestran en la siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

**Tabla.2 1** Dosificación para desinfectar el agua [12].

Dosis mJ/cm <sup>2</sup>	Reducción en el número de microorganismos vivos
5.4	90.0%
10.8	99.0%
16.2	99.9%
21.6	99.99%
27.0	99.999%

## 2.5 Medición de Calidad de Agua.

La calidad de agua tiene las características como física, química y biológicas, para saber la calidad de agua del grifo se debe conocer mínimo los siguientes parámetros físicos si es apto para el consumo humano, pH, Turbidez, Conductividad, Sabor, olor, color. Se consideran parámetros físicos ya que son perceptibles por la vista, olfato, gusto.



**Fig.2 5** Parámetros de medición de calidad de agua [2].

### 2.5.1 Sensores

Los sensores están capacitados para detectar acciones externas y responder en consecuencia que permite medir las características como físicas, químicas, mecánicas, entre varias cosas permitiendo captar la información de un medio físico que nos rodea, transformar en una señal eléctrica que sea capaz de detectar por un microcontrolador.

### 2.5.2 Parámetros de calidad a agua a medir

En el presente proyecto se mide los parámetros físicos de agua como (turbidez, pH, conductividad, intensidad de UV), para que el usuario tenga conocimiento que el agua es apto para el consumo, a continuación, se describen los respectivos sensores que son utilizados para el desarrollo del prototipo.

### 2.5.3 Sensor de pH



**Fig.2 6** Sensor pH [Fuente: Autor].

Sensor de pH (Potencial hidrogeno) permite conocer los parámetros de concentración de iones hidronio presentes en el agua que utiliza una membrana de vidrio que separa dos sustancias, consta de un vidrio electrodo que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones, la corriente se puede transformar en una unidad de pH o mV esto depende de la calibración del sensor, este permite una rápida solución para diseñar sistemas de medición de calidad de agua de bajo costo.

Consta de tres elementos importantes:

- Placa de conversión a Arduino
- Cable de conexión entre Arduino y el conversor
- Sensor de pH



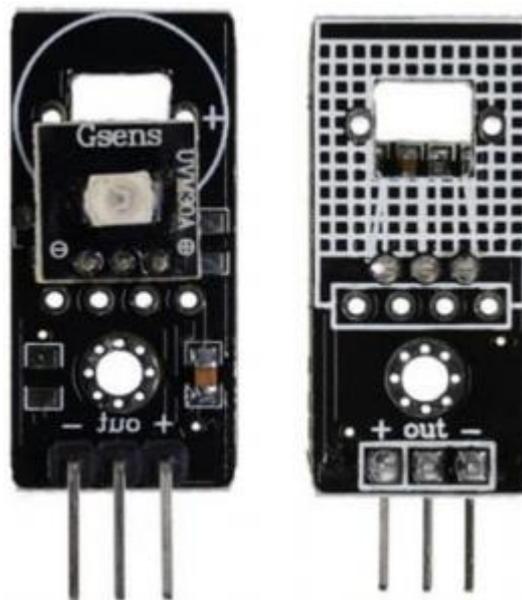
- Cable digital
- Terminal adaptador del sensor
- Cable analógico
- Un electrodo de conductividad con conector BNC
- Tarjeta de circuito

### 2.5.5 Sensor UVM-30A

El sensor UV nos permite medir el nivel de intensidad de la radiación dentro de la cámara de desinfección.

La radiación UV tiene ondas muy cortas por lo que al ojo humano es imperceptible visualizar sin embargo este sensor está diseñado para poder medir estas intensidades UV tiene un rango espectral entre 200nm y 370nm que genera una señal analógica de salida que es variable de acuerdo con la intensidad UV.

Como se puede ver en Fig.2. 8 el sensor tiene 3 pines, el pin (+) se encarga de proveer de energía al sensor, pin (-) conexión a tierra, pin (out) salida analógica.



**Fig.2 8** Sensor UVM-30 vista frontal y superior [Fuente: Autor].

Sus principales usos son:

- |                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1. Monitoreo de la lámpara UV | 3. Monitoreo ambiental   |
| 2. Aplicaciones en jardines   | 4. Proyectos aficionados |

Principales ventajas:

- |                                                                                |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| • Alta confiabilidad y precisión                                               | • Respuesta rápida           |
| • Puede detectar la intensidad total de la radiación del sol y las lámparas UV | • El tamaño reducido         |
|                                                                                | • Salida voltaje lineal      |
|                                                                                | • Resistente al agua y polvo |

### El funcionamiento de sensor:

El sensor mide en milivoltios de acuerdo con la cantidad de intensidad de la radiación UV.

La siguiente Tabla.2 2 indica las características técnicas del sensor que se deben tener en cuenta al momento de realizar las respectivas conexiones para no producir daños de este.

**Tabla.2 2** Características técnicas del sensor UV

Característica	Valor
Voltaje de operación	3-5 V DC
Voltaje de salida	0-1 V DC
Exactitud	± 1 índice UV
Corriente	0,06 mA(estándar) – 0,1 mA(máxima)
Longitud de onda	200-370 nm
Tiempo de respuesta	<0,5 s
Temperatura de trabajo	-20 a +85 °C
Color	Negro
Material	PCB
Dimensiones del PCB	28x12x10 mm

### 2.6 Microcontrolador

Para el presente trabajo el objetivo de un microcontrolador es el control del prototipo su elección se basa en número de puertos, librerías, características de la memoria que estén disponibles para respectiva programación en el mismo.

Para la elección del microcontrolador se basó en los criterios el número que puertos que se van a utilizar por diferentes sensores, conexión como el módulo se comunicación GSM/GPRS, bloque de interfaz con el usuario y entre otro.

Para lo cual se realizó una tabla con puertos y pines requeridos.

**Tabla.2 3** Descripción de pines requeridos por microcontrolador [Fuente: Autor].

Periférico	Pines requeridos	Puertos requeridos
LCD 20x4 con I2C	2 (SDA, SCL)	1 (8bits)
Modulo GSM/GPRS	2 (TX, RX)	1 (8bits)

<b>Teclado Matricial 4X4</b>	8 (4 filas, 4 columnas) Digital	1 (8bits)
<b>Sensores</b>	3 (pH, UVC, turbidez y conductividad) analógicas	1 (8bits)
<b>Lámpara UVC</b>	1 (digital)	1 (3bits)
<b>Total</b>	16pines	5 puertos

Para lo cual también se tomó en cuenta el criterio de la memoria FLASH, memoria RAM, y memoria EEPROM que se necesitará para el alojamiento y las instrucciones de datos en el microcontrolador debido a que vamos a realizar la programación en un lenguaje de alto nivel que tendríamos a añadir diferentes librerías tanto como para el LCD, I2C, UART para lo cual se necesitará al menos 4k de memoria RAM, de la misma forma se toma en cuenta el código de ingreso lo cual recitaremos alrededor de 1000 palabras (bytes) en la memoria EEPROM.

Tomando en cuenta los requerimientos mencionados adquirimos una tarjeta electrónica que utilizaremos en nuestro proyecto es Arduino mega 2560 se encuentra construido en base a un microcontrolador marca ATmega2560, este modelo se utilizó para el desarrollo del prototipo del presente trabajo. Su función básica consiste en recibir información de un entorno en base a sus entradas y realizar una acción mediante los pines de entrada y salidas [13].

### **2.6.1 Características del Arduino mega 2560**

Arduino mega 2560 contiene 54 pines de entrada y salidas de los cuales 16 son de salida PWM, pines analógicos de entrada, 16Mhz, conexión mediante USB, alimentación mediante conector Jack, terminales para conexión ICSP y botón de reinicio, consta también con pines de (RX) de recepción, (TX) transmisión de datos seriales TTL.

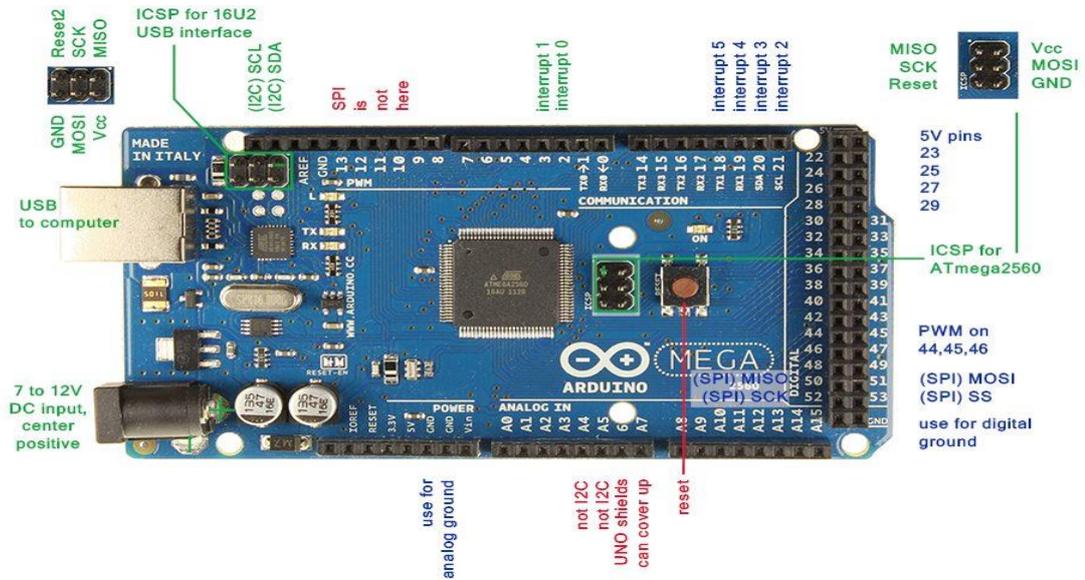


Fig.2 9 Arduino mega 2560 [14].

	Arduino Uno	Arduino Mega 2560	Arduino Micro
			
Price Points	\$19.99 - \$23.00	\$36.61 - \$39.00	\$19.80 - \$24.38
Dimension	2.7 in x 2.1 in	4 in x 2.1 in	0.7 in x 1.9 in
Processor	Atmega328P	ATmega2560	ATmega32U4
Clock Speed	16MHz	16MHz	16MHz
Flash Memory (kB)	32	256	32
EEPROM (kB)	1	4	1
SRAM (kB)	2	8	2.5
Voltage Level	5V	5V	5V
Digital I/O Pins	14	54	20
Digital I/O with PWM Pins	6	15	7
Analog Pins	6	16	12
USB Connectivity	Standard A/B USB	Standard A/B USB	Micro-USB
Shield Compatibility	Yes	Yes	No
Ethernet/Wi-Fi/Bluetooth	No (a Shield/module can enable it)	No (a Shield/module can enable it)	No

Fig.2 10 Características del Arduino Mega 2560 en comparación con los de más microcontroladores [15].

## 2.7 Sistema de Comunicaciones

El prototipo necesita una modulo inalámbrica para poder transmitir datos de los parámetros del prototipo mediante el procesamiento en la tarjeta Arduino hacia el internet de esta manera tener un monitoreo de forma remota mediante un aplicativo web.

### 2.7.1 Shield GPRS/GSM

Shield Arduino GSM permite conectar a internet utilizando la red inalámbrica GPRS de un proveedor de servicio celular, así mismo puede recibir llamadas enviar mensajes

de textos, incorpora un chip radio M10 de la compañía Quectel. Para nuestro prototipo se utilizó el modelo del GPRS/GSM SIM900 este módulo nos permite enviar los datos o variables captados por los sensores del prototipo hacia el internet.

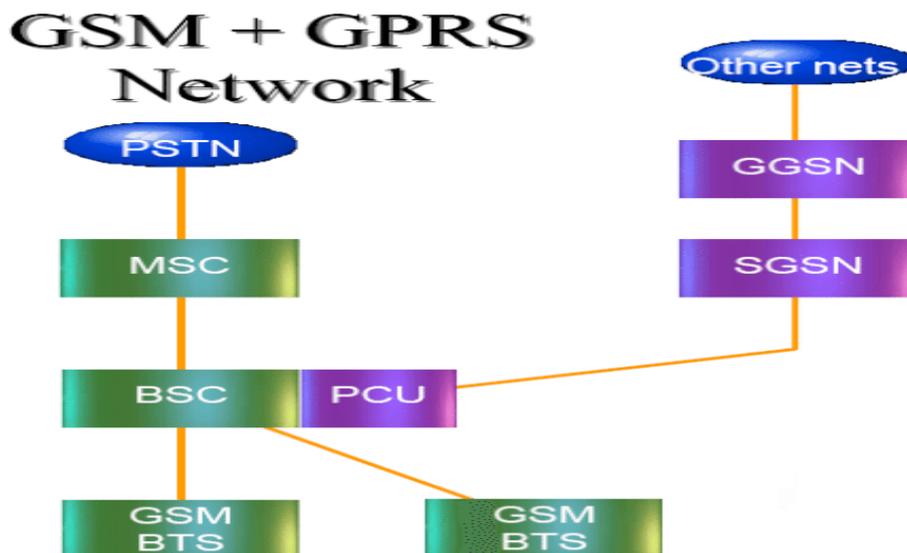


**Fig.2 11** Modulo GPRS/GSM [Fuente: Autor].

El chip M10 es tipo Quad-Band en cual trabaja en las frecuencias GSM900MHz, DS1800MHz, PCS1900MHz y GSM850MHz soporta diferentes protocolos como HTTP, TCP, y UDP a través de la conexión GPRS, el funcionamiento entre el Arduino y modulo chip M10 se interconectan mediante (RS232) la cual envían comandos AT para su respectivo funcionamiento general, el shield se conecta a la red de teléfono móviles para transmitir datos, mensajes de texto, voz, es compatible con las plataformas open source más que todo con las tarjetas Arduino. La configuración se realiza en base a comandos AT mediante UART (Universal Asíncronous Receiver-Transmitter) que está incorporado en la placa para interactuar vía puerto serial.

### **2.7.2 Arquitectura GPRS/GSM**

La red GPRS significa (servicio general de paquetes vía radio) es un estándar de comunicaciones de teléfonos móviles que sirve para transmitir información de paquetes, puede transmitir la información a una velocidad de 114 kbps y permite una conexión hacia el internet. La tecnología GPRS y GSM son tecnologías analógicas que comparten la misma arquitectura, la diferencia que tienen son los diferentes servicios que prestan tanto en la comunicación de datos, voz, mensajes de textos hacia el internet.



**Fig.2 12** Arquitectura Red GPRS [16].

Entre GPRS y GSM se le añadieron tres elementos a la arquitectura de red a continuación se menciona cada uno de ellos:

**SGSN:** trasporta datos desde y hacia las estaciones base, se encarga de controlar la tarificación, acceso, seguridad de dato así mismo la encriptación de datos y comprensión de este, prácticamente es un nodo de conmutación de paquetes IP que está situado a nivel de MSC.

**GGSN:** se encarga de enrutamiento de paquetes de un móvil hacia su destino y mediante el internet a través de una interfaz lógica.

**BG:** es un nodo backbone que conecta a distintas operadoras GPRS

### 2.7.3 Red GSM

La red GSM por sus siglas en ingles Global System For Mobile Communication (sistema global para las comunicaciones móviles), este sistema de red sirve para enviar datos y voz, esta tecnología es la más usada a nivel mundial trabaja en una frecuencia según el territorio en Europa trabaja en una rango de frecuencia de 900 y 1800Mhz y en Estados Unidos trabaja en un rango de frecuencia 1900haciendo que todo los móviles GSM funcionen en todo el mundo , los componentes principales de una red GSM son:

**VLR (Visitor Location Registe).** - Permite saber la última ubicación del usuario mediante el contenido de datos dinámicos.

**HLR (Home Location Gerister).** - contiene la información como, servicios contratados, limitaciones de servicio y localización de usuario básicamente es un base de datos.

**GMSC (Gateway MSC).** – es a través del cual se conecta la red GSM con las redes fijas.

**MSC (Movable Switching Center).** - Control de llamadas y encargado de la asignación de canales de usuario entre el MSC y el BSC, es básicamente un centro de conmutación de servicios móviles.

**BSS (base Station Subsystem).** – está constituido por BSC y la BTS.

**BSC (Base Station controller).** – Actúa como un concentrador de varias estaciones base (BTS).

**BTS (Base Transceiver Station).** – Establece vías de radio y conectividad entre las estaciones móviles.

**SIM (Subscriber Identity Modue).** - es el identificar del abonado que contiene un chip y contiene información.

**MS (Mobile Station).** – Equipo físico usado por el cliente.

Todo este componente comparte la misma frecuencia de rango entre el GSM y GPRS, este módulo servidor es capaz de informar a los usuarios el estado de algún sensor enviando ordenes de encender y apagar de algún actuador mediante un mensaje de texto.

### 2.7.4 Acceso a Internet

Para poder tener acceso a internet se realiza mediante la red GPRS que se considera una subred IP es decir que asignan una dirección de IP a cada uno de móviles que quieran acceder a internet configurándose de esta forma.

- Se asigna las direcciones IP al terminal GPRS
- La red GPRS tiene un servidor local DNS (Domain Name Server)
- (APN) accede mediante un punto de nombres de acceso propio de la operadora con la información del usuario, obteniendo la dirección del terminal del móvil mediante la consulta del DNS.
- Para conectar al internet mediante un móvil la información enviada por GGSN tiene las siguientes características: { {ID Red mnc}[MNC]. mcc [MCC]. gprs }.
- Por último, el acceso poder ser ya sea por IP del operador GPRS o IP DE direccionamiento de ISP.

### 2.7.5 Protocolos de GSM/GPRS

La tecnología GPRS tiene varios protocolos para su funcionamiento como se muestra en la siguiente Fig. 2. 15.

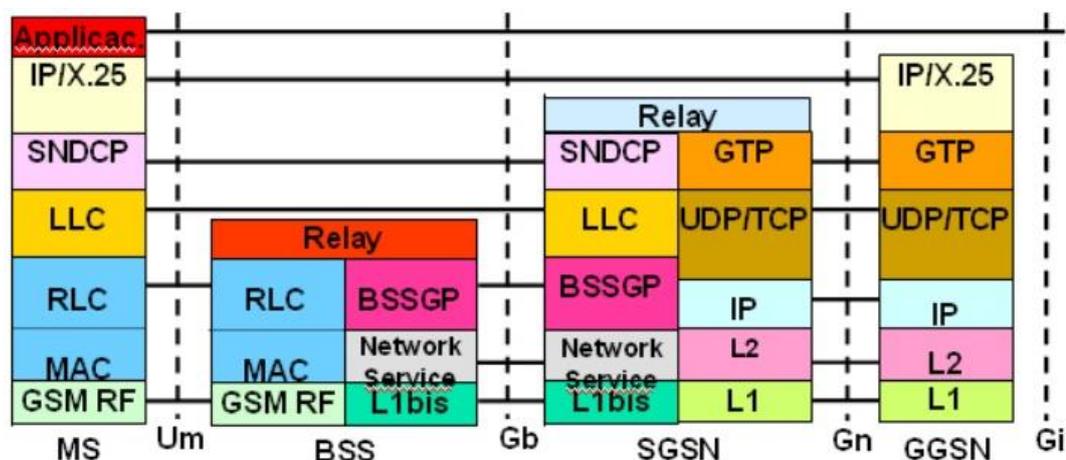


Fig.2 13 Protocolos tecnología GSM/GPRS [17].

Estos protocolos están sujetos entre sí para poder operar mediante la red GPRS/GSM de la mejor forma para las tareas de transmisión, señalización y con la dirección IP que tiene mayor fiabilidad de acceso hacia la red de datos.

### 2.7.6 Canal de operación de GPRS/GSM

En las comunicaciones móviles utilizan el canal físico PDCH que son exclusivos para estas tecnologías, sus funciones principales son que utilizan la misma potencia y el tipo de modulación TDMA, se utilizan 200Khz, cada trama contiene 8 tramas de intervalos que son llamados time-slots (TS), que son numerados de 0 al 7 cada uno 577 us como se indica en la siguiente Tabla. 2. 5.

**Tabla.2 4** Timeslot Burts GSM/GPRS.

TB	Encrypted data	TS	Encryted data	TB	Guard Period
----	----------------	----	---------------	----	--------------

**Cada parte de Timeslot realiza las siguientes funciones:**

**TB:** (Tail Bits) para identificar el receptor al que se envía el time-slot tiene 3 bits

**Encrypted data:** contiene 116 bits y encripta los datos.

**TS:** (Training Sequence) posee 26 bits para el proceso, ecualiza el canal de radiofrecuencia.

**Guard Period:** indica el fin de time-slot y contiene un espacio de 8.25 bits.

### 2.7.7 Tasa de Transmisión de GPRS

La taza de transmisión es obtenida en base de 4 tipos de codificación en GPRS con sus características de codificación de bits, carga útil todo estos siguen los siguientes pasos como se muestra en la tabla.

**Tabla.2 5** Pasos de codificación.

Carga útil	Añadir BCS	Añadir USF	Añadir cola	Código	Diezmado	456 bits

Las dos primeras etapas iniciales añaden información de la carga útil

- **BCS:** chequeo de bloque.
- **USF:** Uplink state flag.

Una vez realiza la codificación se realiza lo que el diezmado, son los bits que se le quitan de forma no arbitraria.

Las cuatro formas de codificación de GPRS son los siguientes:

- El CS-1 coincide con SDCCCH de GSM
- El 2 y 3 son versiones perforados del 1°
- En el 4 no se utiliza el código convolucional

**Tabla.2 6** Tazas de transmisión GPRS

Tipos	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
Tasa datos (Kbps)	9,05	13,4	15,6	21,4

### 2.7.8 Comandos de configuración AT Shield GPRS/GSM

AT son comandos que dan órdenes a un microcontrolador para la comunicación con el shield GPRS/GSM para llevar a cabo una función que se debe realizar, cada uno de los comandos ejecutados deben ser programados para que ejecute cada instrucción en el shield, el control de comandos AT inicia al instante que la tarjeta Arduino se conecta a shield por puertos seriales debidamente configurados a continuación se muestra en la tabla los comandos más utilizados.

**Tabla.2 7** Comandos AT para GPRS/GSM

<b>Comandos AT para conexión hacia el internet</b>	
<b>Comandos AT</b>	<b>Descripción</b>
AT	Verifica si el Módulo SIM900 está funcionando adecuadamente, al enviar At el SIM deberá contestarnos con OK
¿AT+CPIN?	Estado del PIN de la tarjeta SIM
¿AT+CCALR?	Consulta si está activo el servicio de llamadas
AT+CIPSHUT	Cierra la sesión GPRS, Shut OK significa que se ha desconectado.
AT+CGATT=0	Desconexión GPRS para liberar recursos utilizados.
AT+CGATT=1	Conectarse a la red GPRS.
AT+CSQ	Para conocer la calidad de señal, si es 13 la calidad es de -87 dBm, que es un nivel correcto.
¿AT+CSST?	Estado de registro y acceso a la red GPRS cuando el valor es 1, si es 0 se ha conectado a red HSUPA.
AT+SAPBR=3,1,"CONTYPER",GPRS	Consulta de APN de la operadora en uso, si sale CMNET indica que no se ha registrado una APN.
¿AT+CREG?	Configuración GPRS con la APN
AT+SAPBR=3,1,"APN",<APN>	Configuración GPRS con la APN
AT+SAPBR=3,1,"USER",""	Consulta del nombre de usuario
AT+SAPBR=3,1,"PWD",""	Consulta de contraseña
AT+SAPBR=1,1	Indica si se ha enlazado a la red GPRS, debe mostrar OK.
AT+CSST=" <APN>","",""	Confirmación de aceptación de los datos
AT+CIPSRIP=1	Habilita al dispositivo para tener dirección IP, así como un puerto de enlace de datos.
AT+CIICR	Registro de red
AT+CIFSR	Muestra la dirección IP local
<b>COMANDO PARA INICIAR UNA SESIÓN FTP</b>	
AT+FTPCID=1	Perfil del servidor FTP
AT+FTPTYPE=" A"	Tipo de sesión iniciada
AT+FTPSERV=" <DIR FTP>"	Dominio del servidor FTP
AT+FTPUN=" <FTP User>"	Nombre de usuario en el host FTP
AT+FTPPW=" <contraseña>"	Contraseña en el host FTP

AT+FTPPUTNAME=" Project.txt"	Archivo para transferir al host con extensión .txt
<b>COMANDOS PARA SUBIR DATOS A</b>	<b>INTERNET POR SESIÓN FTP</b>
AT+FTPPUT=1	Indica al servidor que se enviará datos, si en la respuesta sale 1300 quiere decir que solo se puede enviar 1300 bytes.
AT+FTPPUT=2,45	Inicia la transmisión de datos, indicándose que solo se envía 45 bytes cada transferencia
Texto	Para comprobar si los datos se han subido a internet de forma correcta
AT+FTPPUT=2,0	Cierra la transmisión

## CAPITULO III

### Metodología y Diseño

Para el presente trabajo de investigación se aplican dos métodos de investigación los cuales utilizamos el método descriptivo y experimentación para realizar las respectivas pruebas de funcionalidad del sistema tanto como hardware, software con fin de realizar pruebas de medición de calidad de agua antes de implementar el prototipo y después de implementar el prototipo que tiene como finalidad de aplicar prácticas y teorías que se desarrollaron en diferentes partes del mundo del prototipo electrónico de potabilización ultravioleta definiendo una solución integral y tenga las características esenciales físicas y lógicas del producto futuro aplicando las tecnologías existentes de esta manera promoviendo una tecnología estable, limpia y económica.

#### 3.1 Parámetros de diseño del prototipo.

Para el presente proyecto se basa en sus criterios en los parámetros de los equipos que están disponibles en el mercado que son tomados en cuenta para diseñar. Los parámetros más importantes para considerar son la demanda de agua, la intensidad de la lámpara UV, concentración de microorganismos.

##### 3.1.1 Demanda de agua.

La Parroquia Punín cuenta con cuatro vertientes que están ubicadas en los páramos de Agua Azul, Shaguil, Bacun, Chulcunag según el proyecto de reconstrucción de nuevas redes de distribución y tanque de reservorio realizado por [18] los mismos documentos que reposan en la oficina de Junta de Administración de agua de consumo doméstico y saneamiento Ambiental de la Parroquia Punín la demanda de agua de cada vertiente son los siguientes:

**Vertiente Shagil:** caudal aforado conducción 1 de longitud 2515m=0.46l/s, diámetro de tubería PVC 32mm con presión de 1.6Mpa, velocidad de flujo = 0.696m/s.

**Vertiente Agua azul:** caudal aforado conducción 2 de longitud 993m=0.15l/s, diámetro de tubería PVC 20mm con presión de 2Mpa, velocidad de flujo = 0.66m/s.

**Vertiente Bacun:** caudal aforado conducción 3 de longitud 1780.00=0.20l/s, diámetro de tubería PVC 25mm con presión de 1.60Mpa, velocidad de flujo = 0.53m/s.

**Vertiente Chulcunag:** caudal aforado conducción 4 de longitud 1900=0.17l/s, diámetro de tubería PVC 25mm con presión de 1.6Mpa, velocidad de flujo = 0.45m/s.

Al reservorio secundario llegan de las vertinetes de Bacun, Chulcunag, Agua azul y Shagil como se puede ver en la Fig.3 .1.



**Fig.3 1** Reservorio secundario [Fuente: Autor].

Desde el reservorio secundario se descarga el agua hacia el reservorio principal

El reservorio principal tiene una capacidad de 50m<sup>3</sup> que abastece para toda la Parroquia Punín de los cuales 215 son usuarios y 5 son instituciones y organizaciones.



**Fig.3 2** Reservorio Principal [Fuente: Autor].

La red de distribución principal tiene un caudal de 3.02l/s con diámetro de tubo 3 pulgadas Fig.3 3.



**Fig.3 3** Red de distribución principal [Fuente: Autor].

### 3.1.2 Intensidad de la lámpara UV

Las lámparas UV emite una radiación germicida con una longitud de onda entre 240 y 280 nm su máxima eficiencia para desinfectar está cerca de los 253.7 nm, a menor distancia del agua del punto de la radiación mayor será la intensidad por lo tanto la desinfección será eficiente. Existe una norma general que dice que no debe haber más de 7.5 cm de profundidad de agua para asegurar que cada porción de esta sea alcanzada por los rayos adecuadamente.

En el mercado existen una gran variedad de lámparas UV las cuales varían por su longitud en base a su potencia e intensidad UV ver Tabla 3. 2, considerando un bajo costo en la inversión inicial y que la lámpara no debe sobrepasar dos metros de longitud se optó por adquirir con las siguientes características, lámpara de baja presión con potencia de 40 W, longitud de 120m y diámetro 2.54cm de esta manera se calcula la intensidad superficial de la lámpara.

Para halla la intensidad utilizamos la siguiente formula:

$$I_o = \frac{P}{\pi * d * L} \quad (\text{ec. 3.1.1})$$

**Donde:**

**I<sub>o</sub>:** intensidad UV-C de la lámpara (mW/cm<sup>2</sup>)

**P:** Potencia de la salida UV-C de la lámpara (w).

**d:** diámetro de la lámpara (cm).

**L:** longitud de la lámpara se restan 5cm de bases.

Remplazando los valores en la ecuación 3.1 se obtiene la intensidad de la lámpara.

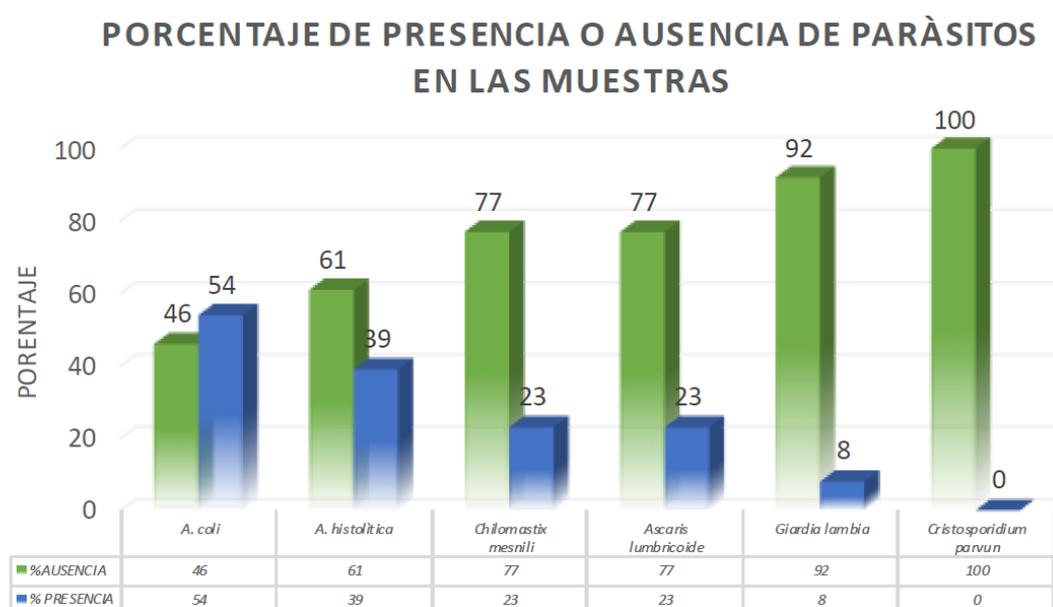
$$I_o = \frac{40w}{\pi * 2.54cm * 115cm} = 43.58 \text{ mW/cm}^2$$

### 3.1.3 Concentración de microorganismos

Basando en las investigaciones realizada de la calidad de agua de la cabecera Parroquial de Punín por [2, p. 56] donde se encontraron diferentes tipos de microorganismos presentes en el agua.

#### 3.1.3.1 Análisis de resultados obtenidos de parámetros microbiológicos

Según [2] en la Parroquia Punín indica que el 92% del agua tiene un crecimiento bacteriano con un valor de 1,1 NMP/100 mL lo cual indican que el agua del consumo humano se encuentra contaminada mediante bacterias fecales sobrepasando los límites permitidos por el estándar NTE INEN 1108, las posibilidades de la contaminación de agua en el sector deban por los arrastre de heces de animales, la contaminación es mayor en épocas de lluvias por uso de abonos orgánicos para la agricultura por el sector cercano a la captación de agua, por la mala captación no tiene los recubrimientos necesarios los depósitos de agua por lo cual es fácil acceso de insectos y residuos que contaminan el agua.



**Fig.3 4** Porcentaje de presencia o ausencia de parásitos [2].

#### 3.1.3.2 Análisis de los resultados parasitológico

**Tabla.3 1** Resultado del porcentaje de presencia o ausencia de parásitos [2].

Parásito	%AUSENCIA	%	TOTAL
	PRESENCIA		
<i>E. coli</i>	46	54	13
<i>E. histolítica</i>	61	39	13
<i>Chilomastix mesnili</i>	77	23	13
<i>Ascaris lumbricoide</i>	77	23	13
<i>Giardia lamblia</i>	92	8	13
<i>Cristosporidium parvum</i>	100	0	13

En la Tabla.3 1 se muestra los resultados de parásitos de la muestra de agua de la Parroquia Punín dando como resultado con mayor porcentaje de contaminación de 54% **Entamoeba coli**, siguiendo con un porcentaje de 39% **Entamoeba hystolítica**, con un porcentaje de 23% **Chilomastix mesnili**, y finalmente con un 23 y 8% **Ascaris lumbricoide** y **Giardia lamblia**, por lo que han considerado que el agua no está apta para el consumo humano.

Teniendo en cuenta los microorganismos presentes en el agua de la Parroquia Punín se realiza la respectiva investigación de la resistencia mediante la radiación UVC a dichos microorganismos mencionados los resultados obtenidos se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que para eliminar el 99% de los microorganismos se necesita las respectivas dosis UV.

**Tabla.3 2** Radiación de energía ultravioleta necesaria para destruir hasta en un 99.99% de los microorganismos patógenos [18].

BACTERIAS	ENERGIA uW/cm2	OTROS ORGANISMOS	ENERGIA uW/cm2
<i>Bacillus anthracis</i>	8.700		
<i>S. enteritidis</i>	7.600		
<i>B. Megatherium sp. (veg)</i>	2.500	LEVADURA	
<i>B. Megatherium sp. (sporas)</i>	5.200		
<i>B. peratyphosus</i>	6.100	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	13.000
<i>B. subtilis</i>	11.000	<i>Saccharomyces sp.</i>	1.600
<i>B. subtilis spores</i>	22.000	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13.000
<i>Clostridium tetani</i>	22.000	Levadura para cerveza	0.600
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6.500	Levadura para panadería	0.800
<i>Eberthella typosa</i>	4.100	Levadura para repostería	13.200
<i>Escherichia coli</i>	6.600		
<i>Micrococcus candidus</i>	12.300	ESPORAS	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10.000		
<i>Neisseria catarrhalis</i>	8.500	<i>Penicillium Roqueforti</i>	26.400
<i>Phytomonas tumefaciens</i>	0.500	<i>Penicillium expansum</i>	22.000
<i>Proteus vulgaris</i>	6.600	<i>Mucor racemosus A</i>	35.200
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10.500	<i>Mucor racemosus B</i>	5.200
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	6.600	<i>Oopora lactis</i>	1.100
<i>S. typhimurium</i>	15.200		
<i>Salmonella</i>	10.000	VIRUS	
<i>Sarcina lutea</i>	26.400		
<i>Serratia marcescens</i>	6.160	Bacteriophage ( <i>E. coli</i> )	6.600
Dysentery bacilli	4.200	Virus de la influenza	6.600
<i>Shigella paradysenteriae</i>	3.400	Virus de la hepatitis	8.000
<i>Spirillum rubrum</i>	6.160	Polivirus (Poliomyelitis)	1.000
<i>Staphylococcus alous</i>	5.720	Rotavirus	24.000
<i>Staphylococcus aureus</i>	6.600		
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	5.500	ALGAS	
<i>Streptococcus lactis</i>	8.800		
<i>Streptococcus viridans</i>	3.800	<i>Chlorella vulgaris</i>	2.000
<i>Vibrio cholerae</i>	6.500		

La distancia que debe tener el reactor y la intensidad UV de la lámpara, teniendo en cuenta estos factores se requiere un tiempo determinado para eliminar los microorganismos de acuerdo con las características de la lámpara UVC ver Tabla 3.3.

**Tabla.3 3** Valores de irradiancia según intensidad de la lámpara [19].



Distancia a la lámpara en cm	Factor de intensidad	Irradiancia		Irradiancia		Irradiancia	
		Tubo de 15 W μW/cm <sup>2</sup>	Tiempo para inactivar bacterias Seg	Tubo de 30 W μW/cm <sup>2</sup>	Tiempo para inactivar bacterias Seg	Tubo de 36 W μW/cm <sup>2</sup>	Tiempo para inactivar bacterias Seg
0	354	13098	0.76	29382	0.34	33276	0.30
2.5	127	4699	2.13	10541	0.95	11938	0.84
5	69	2553	3.92	5727	1.75	6486	1.54
10	32	1184	8.45	2656	3.77	3008	3.32
15	20	740	13.51	1660	6.02	1880	5.32
20	14	518	19.31	1162	8.61	1316	7.60
25	14	518	19.31	1162	8.61	1316	7.60
38	6	222	45.05	498	20.08	564	17.73
50	4	148	67.57	332	30.12	376	26.60
64	3	111	90.09	249	40.16	282	35.46
76	2	74	135.14	166	60.24	188	53.19
88	1.4	51.8	193.05	116.2	86.06	131.6	75.99
100 cm (1m)	1	37	270.27	83	120.48	94	106.38

### 3.2 Diseño y calculo general de prototipo

En esta etapa, se considera todos los datos recolectados para la elaboración del diseño del prototipo de potabilización de agua de la Parroquia Punín, para ello, se toma en cuenta las referencias y antecedentes.

El trabajo que tiene por realizar es diseñar la cámara o el reactor UV como ya se ha venido mencionando anteriormente para tener el agua en contacto directo con la luz Ultravioleta, para ello es determinar el diámetro referencial que deber tener el reactor. Esto se calcula dependiendo al caudal de agua a tratar ( $0.0321\text{ l/s} = 0.025\text{ m}^3/\text{s}$ ), con un diámetro de lámpara (2.54 cm), la velocidad mínima de flujo de agua entre ( $0.1 < v < 0.3\text{ m/s}$ ), este está dado mediante la siguiente ecuación de continuidad en función de diámetro.

$$Q = v * \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (\text{ec.3.4.1}).$$

**Donde:**

**Q**= Es el caudal para tratar ( $0.0321\text{ m}^3/\text{s}$ ).

**v**= la velocidad mínima de flujo ( $0.325\text{ m/s}$ ) en este caso.

**D**= El diámetro del reactor (m).

**d**= El diámetro de la lámpara ( $0.0254\text{ m}$ ).

reemplazando los valores en la ecuación ec.3.4.1 se obtiene.

$$0.0321 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{0.3\text{ m}}{\text{s}} * \frac{\pi}{4} (D^2 - 0.0254\text{ m})^2$$

$$D = 0.162\text{ m} = 16.2\text{ cm} \quad R//.$$

### 3.2.1 Intensidad de UV del reactor

- Tipo de lámpara y emisión UV
- Absorción UV del agua.
- Geometría de la lámpara y reactor
- Número de lámparas

Teniendo en cuenta dicho valor del diametro del reactor se procede a calcular la intensidad UV de la lámpara al punto mas lejano de la pared del reactor, restando la separacion de 2.5 cm del centro de la lampra, y considerando la absorbancia. Según el valor de absorbancia del agua de consumo humano es igual  $0.02\text{ cm}^{-1}$ , la expresion para calcular la intensidad UV al punto mas lejano es:

$$I = I_0 * 10^{-a*d} \quad (\text{ec. 2.4.2})$$

**Donde:**

- I = intensidad UV en la parte más lejana de la lámpara
- $I_0$  = Intensidad superficial de la lámpara
- a = absorbancia del agua a 254 nm ( $\text{cm}^{-1}$ )
- d = Distancia recorrida por la Luz dentro del reactor.

$$I = 43.58\text{ mW} / \text{cm}^2 * 10^{-0.02\text{ cm}^2 * 6}$$

$$I = 33.05 \text{ mW/cm}$$

La intensidad UV en el punto más lejano del reactor es de 33.05 mW/cm lo cual es bastante efectivo para desinfectar dichos microorganismos mencionados.

### 3.2.2 Dosificación UV

Como cualquier otro desinfectante tradicional, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño, el número de exposición de microorganismos dependen de la dosis pudiéndose compensar un menor tiempo de exposición con una mayor irradiación. No es fácil determinar con exactitud el tiempo de contacto (ya que éste depende del tipo de flujo de agua).

**La dosis UV es el producto de:**

**Intensidad:** (cantidad de luz UV por unidad de superficie que recibe un área) y  
**Tiempo de exposición:** (tiempo de contacto en la cámara del reactor)



**Fig.3 5** Dosis UV [Fuente: Autor].

**Dosis UV se expresa en:**

$\mu\text{Ws/cm}^2$  (Microvatios segundos/cm<sup>2</sup>),  $\text{mWs/cm}^2$  (Milivatios segundos/cm<sup>2</sup>),  $\text{mJ/cm}^2$  (Milijulios/cm<sup>2</sup>)

#### 3.2.2.1 Calculo total de dosis UV

La Dosis UV recibida en una cámara UV depende del campo de la intensidad UV que genere la cámara UV, y que es función de:

$$D_{uv} = \frac{\text{Salida en Watts de lampra}}{\text{Area de reacto UVC (cm}^2)} * \text{tiempo(s)} \quad (\text{ec. 3.4.3})$$

$$D_{uv} = \frac{40w}{402\text{cm}^2} * s$$

$$D_{uv} = 100\text{mw /cm}^2$$

Teniendo en cuenta la dosificación con un valor de 100 mili watts en un segundo dentro del reactor.

### 3.2.2.2 Tiempo de Exposición

- Caudal
- Volumen efectivo del agua

Teniendo el diámetro de 16cm y la intensidad de lámpara en punto más lejano y la dosificación UV dentro del reactor de 1.20 m de longitud se procedió a calcular el tiempo de retención.

$$tR = \frac{DUV}{I} \quad (ec. 3.4.5)$$

$$tR = \frac{100mw * s /cm^2}{33.05mw /cm^2} = 2.98 s$$

Para saber si el tiempo de retención real es mayor o igual al pasar la partícula del agua dentro del reactor utilizamos la expresión movimiento rectilíneo uniforme donde:

$$t = \frac{d}{v} \quad (ec. 3.4.6)$$

**Donde:**

- t = tiempo de recorrido de la partícula de agua dentro del reactor
- d = distancia que va a recorrer la particulado del agua (1.20 m)
- v = velocidad de flujo del agua (0.325m/s)

De esta manera:

$$t = \frac{1.20m}{0.325m/s}$$

$$t = 3.7s$$

De esta manera se consiguió que la partícula de agua a pasar por el reactor se retiene con mayor tiempo, tiene una retención de 3.7s a dicho diámetro y con una longitud de del reactor de 1.20 m calculando para obtener un 99.9% desinfección del agua.

### 3.1.4 Análisis para el diseño del sistema de potabilización

La Parroquia de Punín no cuenta con ningún tipo de sistema de potabilización de agua y considerando los parámetros investigados en la sección 3.1 se llegó a la conclusión de que el proceso de desinfección química no garantiza una desinfección completa para mitigar por completo la presencia de los microorganismos y patógenos por ende se opta por diseñar un reactor UV que sea de fácil uso y económico y que pueda tratar el agua dependiendo del caudal.

Además, los sistemas de desinfección de agua convencionales por medio de químicos no son tan recomendables ya que deja residuos en el agua que puede causar otras enfermedades en la salud, por este motivo se realiza la presente investigación sobre la

aplicación de la radiación UV como método de desinfección de agua, sus principales características para utilizar la radiación UV como método de desinfección son:

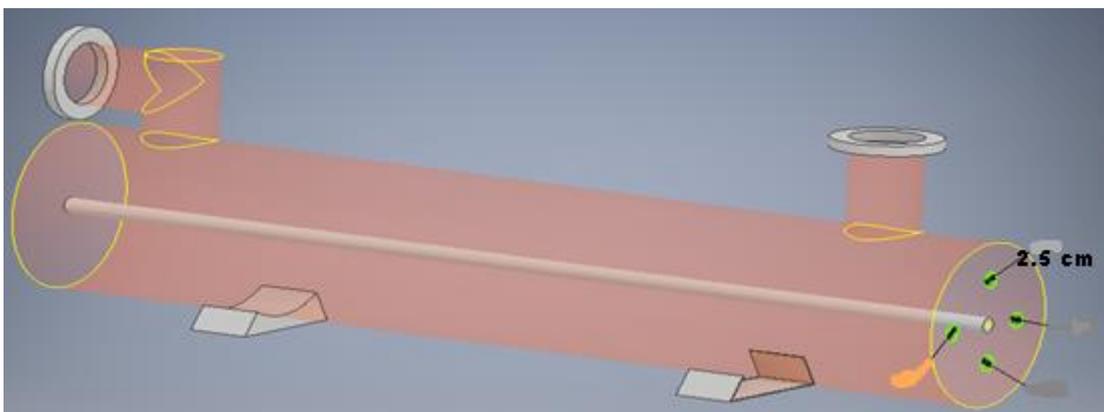
- No generan residuos ni contaminan el medio ambiente.
- No se requiere la utilización de los agentes químicos
- No se necesitan otros recursos para el proceso de potabilización.
- No se requiere de un tiempo extra para la potabilización.
- No se necesita de un personal calificado que controle o monitoree la cámara de desinfección.
- Puede trabajar las 24 hrs del día sin ningún problema y los 365 días de año, parando solo para su mantenimiento.
- El uso de lámparas UV-C germicidas son ahorradoras, pues no consumen mucha energía eléctrica.

Considerando todo este método que es viable el uso de la radiación ultravioleta como purificador de agua y el nivel de confiabilidad depende de la longitud de onda utilizada para este mismo tal como se explica en el marco teórico.

### 3.2.1 Software Autodesk Inventor.

El software se trata de un programa que se puede diseñar todo tipo de diseños industriales ayudando con herramientas de modelado que ayudan a disminuir la necesidad de realizar modelos físicos, el modelo virtual además permite revisar la forma, el funcionamiento y los ajustes que se necesiten hacer al producto.

Una vez definido el diámetro que debe tener el reactor UV se procedió a dimensionar el mismo mediante el software Inventor, con un diámetro de 16cm y la longitud de 125 cm, y con las entradas y salidas de agua en cada extremo del reactor con un diámetro de 6cm, dichas dimensiones aseguran que el tiempo de retención del equipo sea igual a 20 segundos emitiendo una dosis UV igual a 33.05 mWs/cm<sup>2</sup> de manera constante que el mismo valor de dosis UV son de acuerdo a microorganismo a tratar en el agua de la Parroquia Punín considerando la lámpara que se utiliza para este prototipo es de 40 w.



**Fig.3 6** Diseño del Reactor UV cerrado [Fuente: Autor].

### 3.2.2 Construcción físico del prototipo.

En esta etapa se construye el reactor UV-C en un material inoxidable que tiene los parámetros con una longitud de 125cm, diámetro de 16cm con una salida y entrada para el agua en cada extremo con diámetro de 6cm ver Fig.3 7.



**Fig.3 7** Reactor UV-C cerrado [Fuente: Autor].

La cámara de desinfección tiene una longitud de 120cm, la longitud total del reactor es de 125 cm de los cuales 5 cm (1) se restan de la parte superior y posterior del reactor para poder colocar la lámpara UV-C con un diámetro de 4cm (2) como se puede ver en la Fig.3.8.

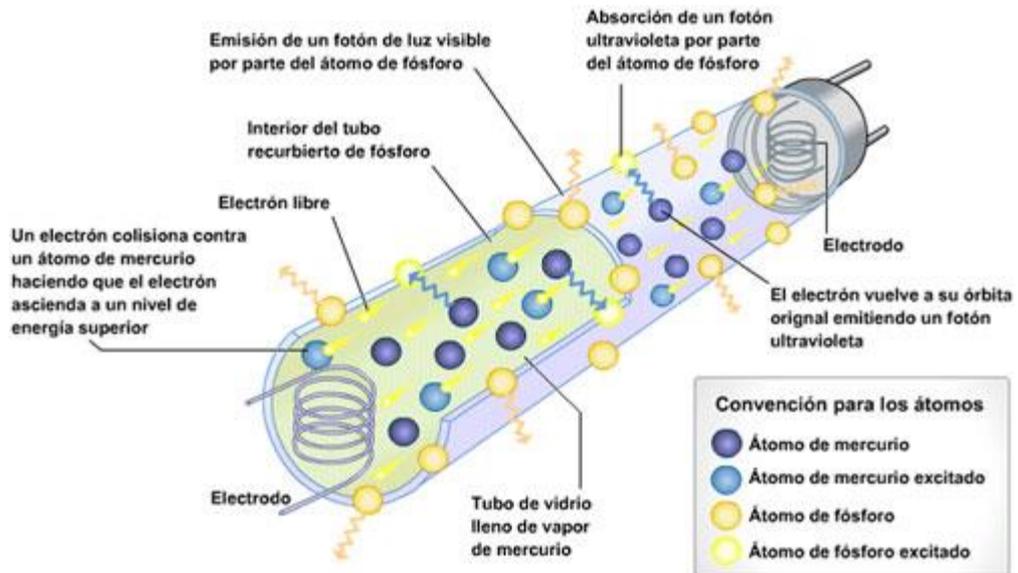


**Fig.3 8** Vista supero y posterior de Reactor UV-C [Fuente: Autor].

La lámpara fluorescente UVC que se utiliza tiene una longitud de 120cm y con diámetro de 2.54cm como ya se menciona en sección 3.1, la energía emitida por esta lámpara germicida está en una línea de resonancia de mercurio de 253.7nm, esta longitud de onda está en una región máxima de germicida que es letal para los virus, bacterias, hongos, algas entre otros microorganismos ver Fig. 3. 11.

#### **Funcionamiento de la lámpara UV-C:**

La lámpara funciona con un voltaje de 120-277 V a 50 y 60 HZ mediante un balastro electrónico que es conectado a cada extremo de la lámpara. La corriente pasa a través de los cátodos de la lámpara dentro del mismo tubo consta de vapor de mercurio lo que produce entre los electrones emitidos y flujo entre los cátodos que interactúa produciendo la energía ultravioleta.



**Fig.3 9** Funciones de la lámpara UV-C [20].



**Fig.3 10** Lámpara utilizada en el prototipo [20].

En esta parte se procede a colocar la lámpara por la parte posterior del prototipo, dentro del reactor UV-C para que se acoplado bien al reactor para lo cual se utilizan los respectivos empaques de agua cuando el agua ingrese al reactor no se filtre de esta manera quede bien colocado la lámpara UV-C ver Fig.2 10.



**Fig.3 11** Colocación de lámpara UVC dentro del reactor. [Fuente: Autor].

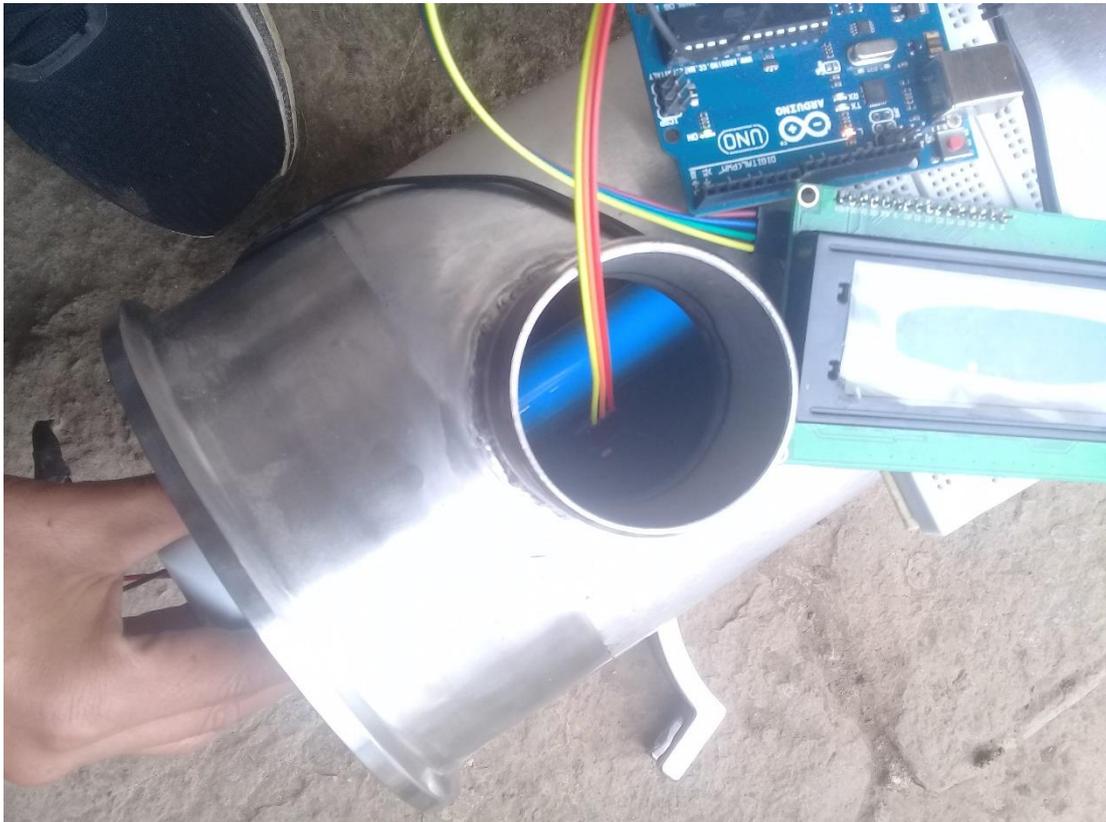
Como se puede ver en la Fig.3 12 ya se colocó una lámpara UV-C dentro del prototipo para potabilizar agua mediante la radiación UV-C.



**Fig.3 12** Instalación de lámpara dentro del Reactor [Fuente: Autor].

En esta etapa se procede a verificar la correcta funcionalidad de la lámpara UV-C dentro del reactor ver Fig.3 13 y se procede a medir la intensidad de la lámpara dentro de mismo utilizando un sensor de UV que tiene un rango de medición de 200 a 300nm de longitud de onda en base a un microcontrolador Arduino mega 2560 como resultado de la prueba de longitud de onda nos da un valor de 298nm y al punto más lejano do

del reactor 288nm de la misma forma se procedió a verificar la longitud de onda con el agua lleno dentro del reactor que el resultado arroja es de 255 a 257 nm que es bastante buena.



**Fig.3 13** Prueba de la lámpara dentro del reactor [Fuente: Autor].

Para las protecciones de los terminales de la lámpara se coloca los respectivos accesorios ver Fig.3 14 con una capa de 1cm de grosor, en los extremos del reactor.



**Fig.3 14** Protección del reactor de los terminales de lampara colocadas [Fuente: Autor].

### **3.3 Diseño de la arquitectura del hardware del prototipo.**

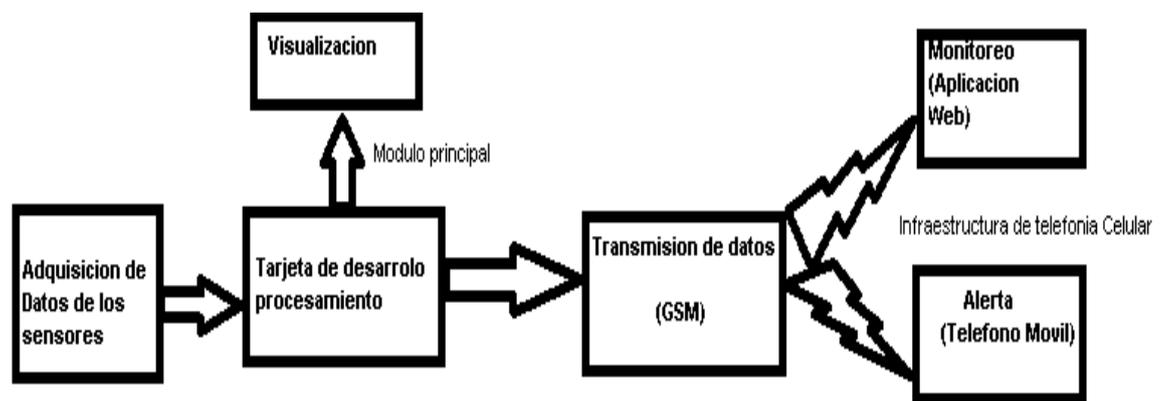
En la investigación se usan varios elementos de hardware: una placa basada en microcontrolador Arduino Mega2560, una placa de comunicación inalámbrica,

sensores para medir la calidad de agua fisicoquímico, y varios elementos adicionales que requiere el prototipo de potabilización de agua.

En esta etapa correspondiente al hardware que se encuentra en la representación de los sensores de pH, sensor de conductividad y turbidez, sensor de UV, encargados de permanecer bajo el agua dentro del prototipo para medir los parámetros fisio-químicos; procesa la señal analógica y la convierte en señal digital y es enviada a través del protocolo de comunicación RS232 hacia la placa electrónica Arduino Mega2560. La placa Arduino mega recibe el valor y lo procesa para enviarlo hacia internet al servidor a través del Shield GSM Arduino utilizando la red GPRS.

### 3.3.1 Diagrama de bloques de adquisición y procesamiento de datos.

La estructura muestra la cual se puede tener una visión clara de las etapas principales para el procesamiento de datos de los sensores y monitoreo de forma remota, el diseño del hardware se ha dividido en 3 módulos que interoperan entre sí para conformar el módulo de monitoreo remoto y aletas mediante mensajes SMS del prototipo cuyo esquema se muestra en la Fig.3 15 conformado por **módulo de sensores, módulos de procesamiento de datos y módulos de comunicación.**



**Fig.3 15** Diagrama de bloques del hardware [Fuente: Autor].

El hardware inicia con la parte del módulo de sensores que realizaran las mediciones de los parámetros de la calidad de agua, dichos sensores se ubican a la entrada del reactor para constatar que el agua procedente de las vertientes pase por el Reactor UV-C y los sensores sean capaz de medir de forma constante los parámetros de agua potable consumibles los mismos valores obtenidos sean convertida y adaptadas de forma digital para ser trasmitido.

**La etapa de módulos de procesamiento de datos:** contienen un microcontrolador Arduino mega2560 que es el encargado de recibir los datos de los sensores para su respectivo procesamiento para ser trasmitido a la página web donde se visualizan los parámetros captados por los sensores del prototipo, La función adicional de Arduino es la activación y la desactivación de la lámpara UV-C.

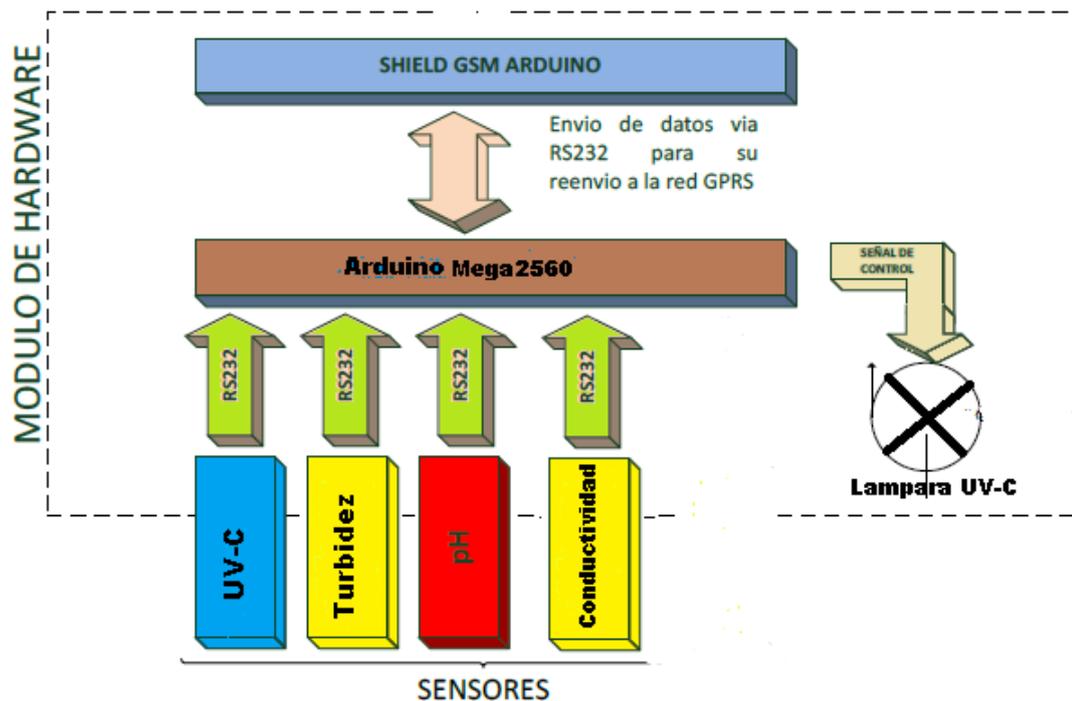


Fig.3 16 Módulos de Hardware [Fuente: Autor].

En la etapa de **Modulo de comunicación** nos permite la medición de forma general que se conecte a la red de internet haciendo uso de la red GSM de uso comercial del país el siguiente esquema demuestra los pasos de comunicación ver Fig.3 13.

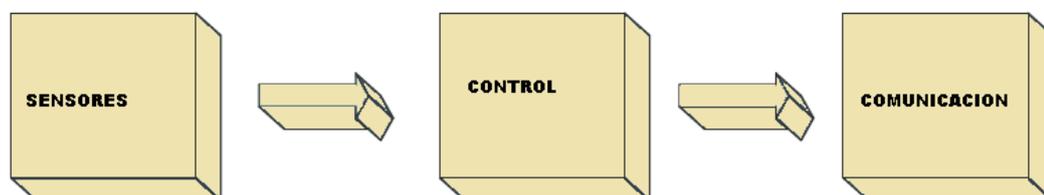


Fig.3 17 Esquema de módulo de Hardware [Fuente: Autor].

### 3.3.2 Modulo de sensores

En esta etapa se desarrolla las respectivas calibraciones de los sensores de medición de la calidad de agua que se utilizan en la investigación como ya se mencionó anteriormente los respectivos sensores deben de estar sumergido en el agua permanentemente los respectivos sensores que se utilizan se puede ver en la Fig.3 18.

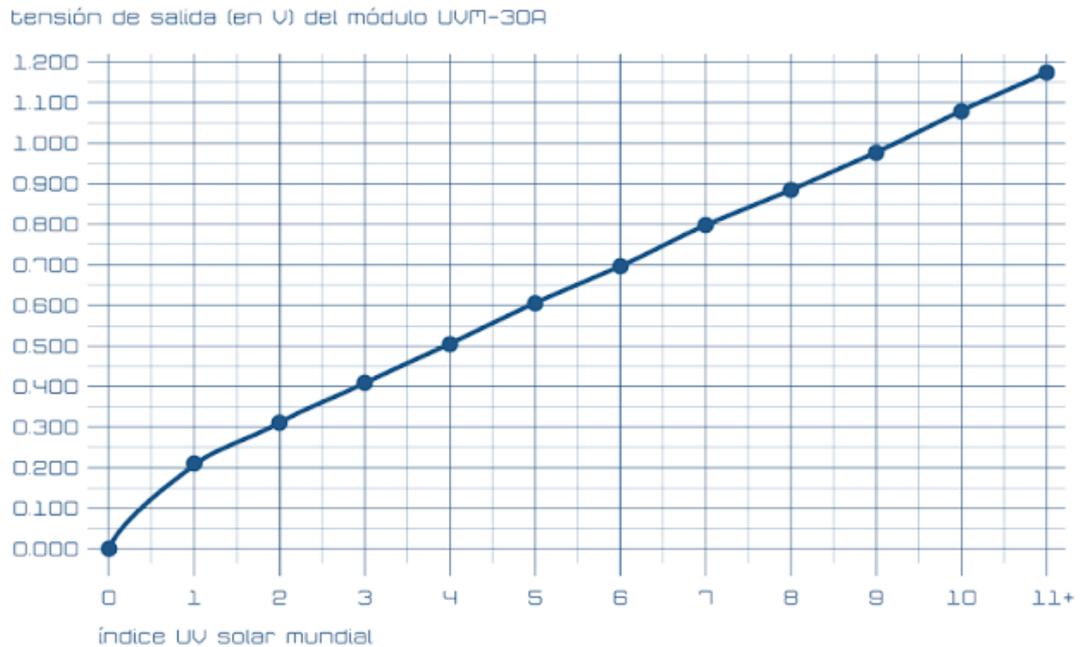
#### Sensor ultravioleta UVM-30A

El sensor ultravioleta se utiliza para medir la longitud de onda de la lámpara UV-C y la intensidad en  $\text{mW}/\text{cm}^2$  que tiene un rango de 253.7 nm, el sensor tiene la capacidad de detectar longitudes de onda de entre 200 nm a 370 nm la cual utilizamos para saber la correcta funcionalidad de reactor UV en caso de que la lámpara se descomponga el sensor automáticamente nos daría un valor de 0 la cual se refiere que

la lámpara está en mal estado y se requiere de una reparación pronta sus características y funciones ver sección 2.5.6.

El fabricante del sensor nos proporciona una tabla con valores de salida en mV con los que se alcanza los 12 niveles de índice UV incluyendo el valor 0 ver Tabla 3.3.

**Tabla.3 4** Niveles de Índice UV [21].

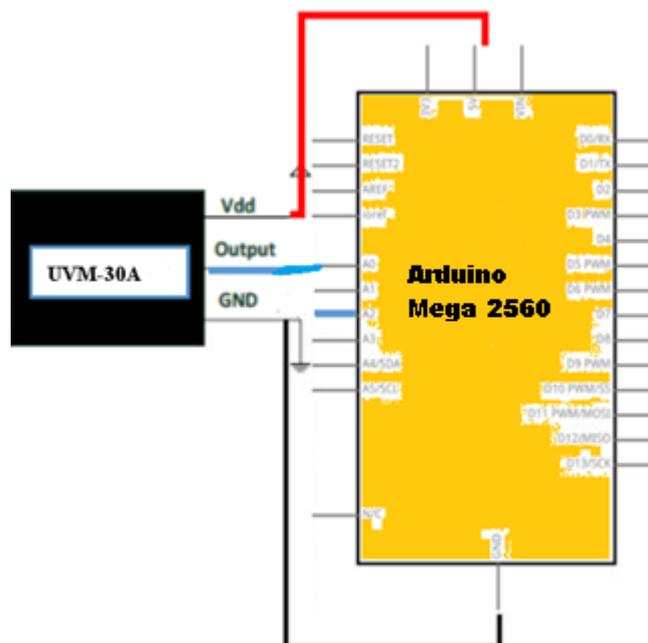


Los niveles de índice UV tienen 12 niveles los cuales van desde <50 mV a 1170mV Vout cada valor de mV representa un número de 0 a 12 estos valores tienen un color diferente que representan el nivel de peligrosidad de radiación UV, el color gris y verde representa un nivel bajo, amarillo un nivel moderado, tomate alto, roja muy alta, morado extremadamente alto en peligrosidad ver Fig.3.19.



**Fig.3 18** Índice de UV [22].

**Esquema de conexiones de sensor UVM-30A.**



**Fig.3 19** Esquema de conexión del sensor UV [Fuente: Autor].

### Sensor de conductividad y turbidez.

El sensor de conductividad y turbidez puede detectar la calidad de agua midiendo el nivel de sólidos disueltos totales (TDS) esto se refiere a la cantidad de sales inorgánicas y orgánicas como el calcio, potasio, magnesio, sodio entre otros elementos presentes en el agua son capaces de detectar las partículas en suspensión en el agua mediante la transparencia de la luz dentro del agua y la velocidad de dispersión que cambia por la cantidad de sólidos suspendidos (TSS) en el agua mientras más aumente el nivel de TSS la turbidez del agua aumenta lo que provoca que el agua no sea apta para el consumo.

### Función de TDS.

El sensor funciona por medio de la conductividad que se mide en unidades de volumen de agua (mg/L) o PPM (Partes Por Millón) según los estándares secundarios de la agencia de protección ambiental de los EE. UU. para que el agua sea potable el nivel de TDS tiene que ser valores entre 200 y 300 mg/L y no es recomendable el TDS mayores de 500mg/L para el consumo humano ya que afecta en sabor, el olor y color ver Fig.3.20.



**Fig.3 20** Niveles de TDS de agua [23].

El TDS elevado causa al agua una apariencia turbia y disminuye el sabor del agua, el ser humano al consumir el agua con exceso de TDS pueden experimentar una irritación gastrointestinal y entre otras enfermedades, el TDS (solidos disueltos totales) presentes en agua son las principales causas de turbidez si no se filtra adecuadamente el agua.



**Fig.3 21** Sensor de turbidez y conductividad [24].

La conductividad eléctrica (EC) en el agua es uno de los parámetros para saber la calidad de agua que se consume, la concentración de iones proviene de sales disueltos y materias inorgánicas como (cloruros, sulfuros, carbonatos, alcalinos) estas materias inorgánicas se transforman en iones que también le podemos llamarles electrolitos.

El aumento y disminución repentino de la conductividad en una masa de agua indica la contaminación en el mismo ya que una fuga de aguas residuales o la mezcla de aguas industriales aumentarían la conductividad debió a los iones compuestos de materiales inorgánicas como el nitrato, fosfato, cloruro y entre otros materiales, en cambio una disminución afectaría por un derrame de petróleo u otros elementos orgánicos por ende en ambos casos se tendría un impacto negativo en la calidad de agua en la siguiente Tabla.3 5 tenemos los niveles de EC en diferentes tipos de aguas.

**Tabla.3 5** Niveles de conductividad de cada tipo de agua. [Fuente: Autor].

	Conductividad a 25°C
Agua Ultra-pura	0.05 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Agua de alimentación a calderas	1 a 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Agua potable	50 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Solución de Suelo	0.5 - 2.5 $\text{mS}/\text{cm}$
Agua de mar	53.0 $\text{mS}/\text{cm}$
5 % NaOH	223.0 $\text{mS}/\text{cm}$

## Diagrama de bloques de sensor de conductividad y turbidez

Para logra nuestro objetivo de medición en un tiempo real y para su monitoreo en la siguiente Fig.3 22 se muestra las respectivas conexiones con el microcontrolador Arduino mega 2560 a través del pin analógico A1.

## Esquema de conexiones del sensor turbidez y conductividad

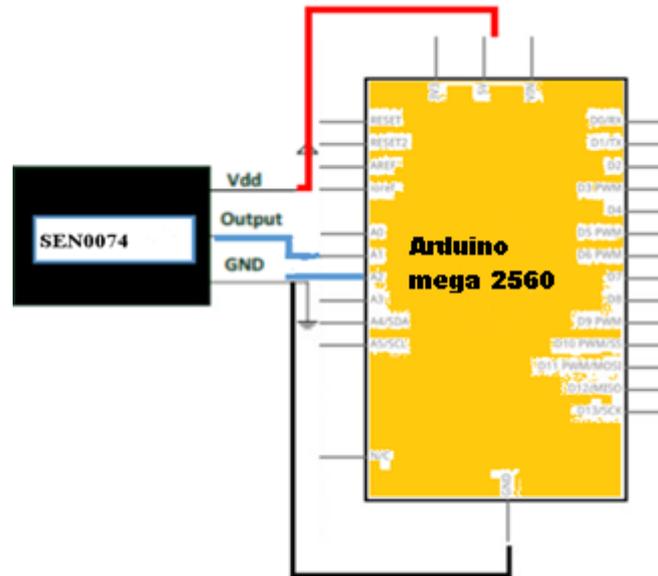


Fig.3 22 Esquema de conexión sensor turbidez [Fuente: Autor].

## Sensor de pH genérico.

Este sensor de pH nos permite conocer el nivel de alcalinidad o acidez del agua se refiere a la concentración de iones de hidrogeno la escala de medición son de 0 a 14 pH si el valor de pH es menor el nivel de acidez en mucho mayor en agua, el pH en agua potable recomendables va desde 6.5 y 9.5 pH.

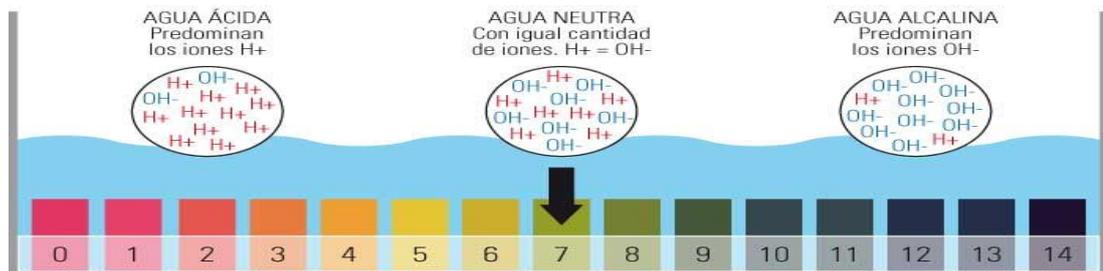


Fig.3 23 Niveles de pH de agua [25].

## Características del sensor pH.

**Tabla.3 6** Características del sensor pH [26].

VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO:	5V DC.
CORRIENTE DE FUNCIONAMIENTO:	
TIEMPO DE RESPUESTA:	≤ 1min
RANGO DE MEDICIÓN	0-14
PRECISIÓN	± 0.1pH (25 °C)
POTENCIOMETRO	Potenciómetro de ajuste de ganancia
INDICADORES	Indicador de encendido LED
MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA	0-60 °C
CONECTOR SENSOR	Conector BNC
CONECTOR INTERFAZ PH 2.0	Conector de 3 pines
DIMENSIONES DEL ADAPTADOR:	43mm × 32mm

### Calibración del sensor pH.

Para poder trabajar con el sensor pH lo primero es realizar la calibración de este, mediante Solución Calibradora de PH se utiliza dos soluciones de respectivamente pH 4.1 y 6.86 se conecta el sensor de pH al Arduino mega 2560 en una posición analógica para tener las respuestas coherentes.

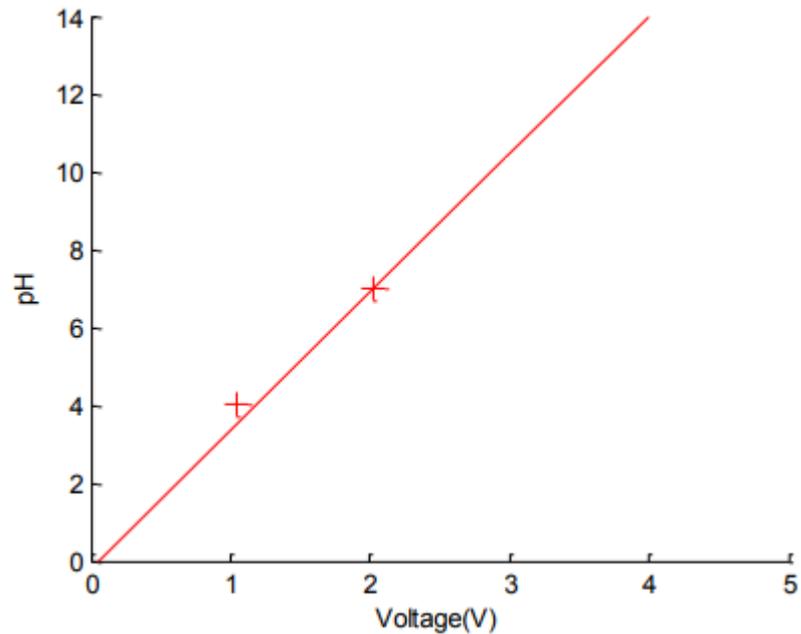


**Fig.3 24** Solución Calibradora de PH calibración de Medidor de PH [27].

Se vierte la solución en un vaso de cristal la cantidad necesaria que pueda cubrir el electrodo, se destapa el electrodo de la sonda teniendo mucho cuidado ya que es muy frágil, con la ayuda de script de Arduino procedemos a realizar las mediciones hasta

encontrar las lecturas correctas se han obtenido dos voltajes diferentes para las dos soluciones de calibración del sensor en 6.86 y 4.1pH.

con la ayuda de software Matlab se procedió a realizar una representación gráfica de calibración de pH representado los dos puntos de calibración de dos soluciones



**Fig.3 25** Recta de calibración del sensor de pH [Fuente: Autor].

La salida del sensor da en milivoltios los valores que arrojan después de calibrar el sensor se puede ver en la siguiente Tabla.3 7.

**Tabla.3 7** Resultado del sensor pH [26]

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

### Diagrama de conexión

Para logra nuestro objetivo de medición en un tiempo real y para su monitoreo en la siguiente Fig. 3. 26 se muestra las respectivas conexiones con el microcontrolador Arduino mega 2560 a través del pin analógico A2.

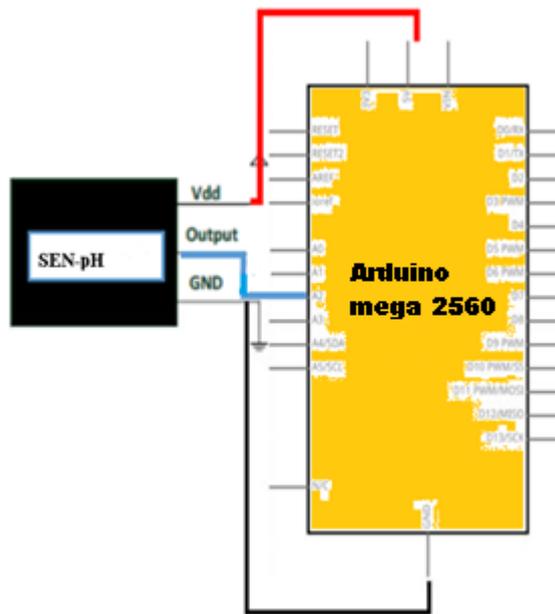


Fig.3 26 Diagrama de conexión del sensor pH [Fuente: Autor].

### 3.3.3 diagrama de flujo de los sensores

En este diagrama de flujo Fig. 3.27 se muestra los procesos que realiza cada sensor y cada etapa que pasan los datos medidos por los sensores y ser procesados por el controlador Arduino y ser enviado al módulo shield GSM para ser enviado hacia la página web donde el usuario final podría saber la calidad de agua que se está consumiendo.

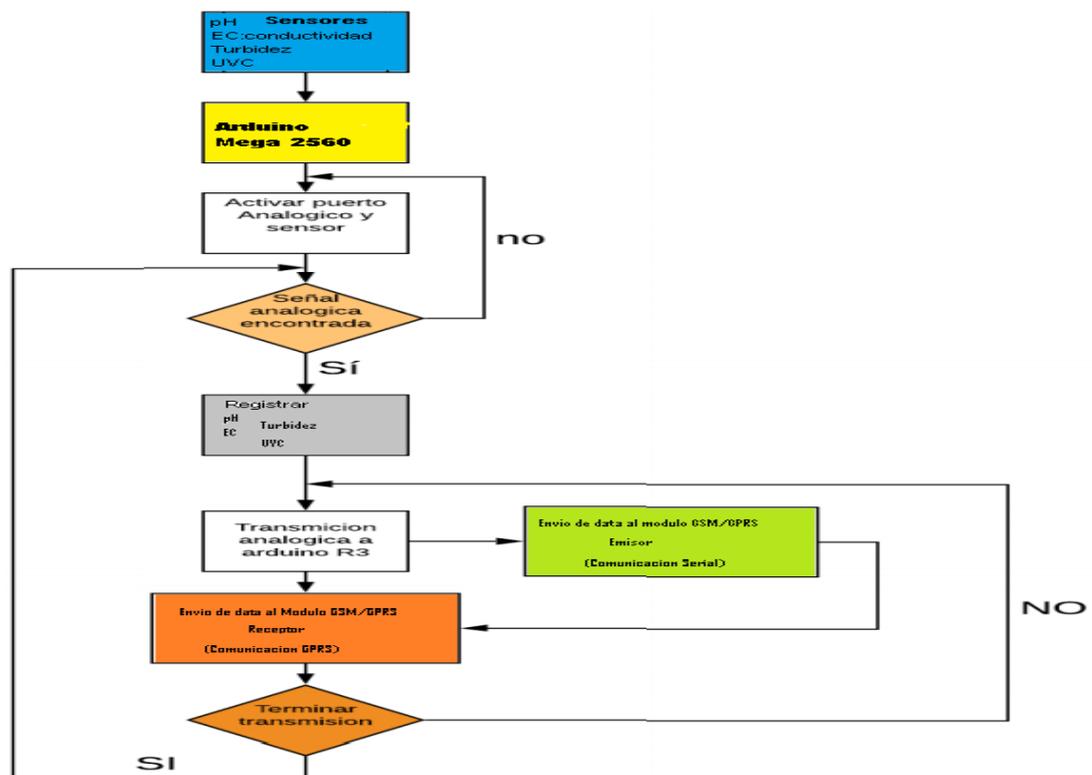
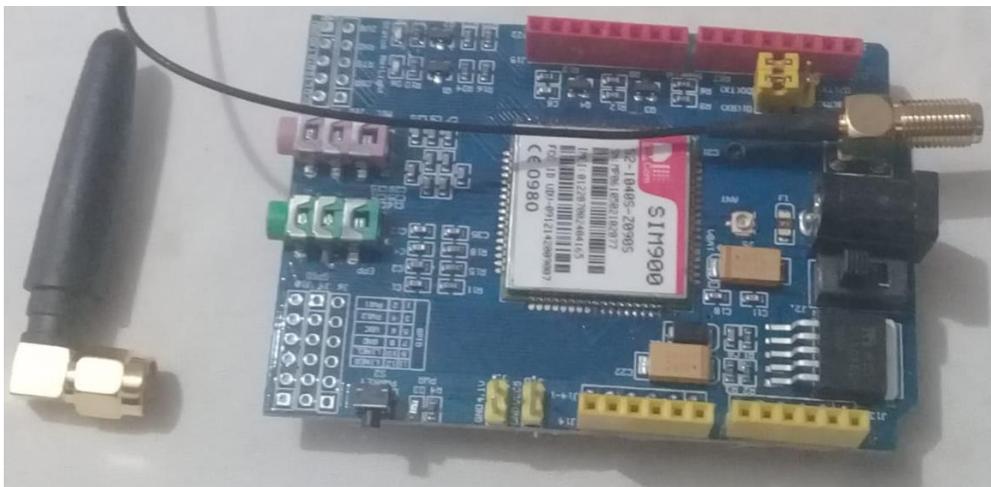


Fig.3 27 Diagrama de Flujo de los sensores. [Fuente: Autor].

### 3.3.4 Modulo de comunicación

En esta etapa para la comunicación se utiliza el módulo shield Arduino mediante la red GSM/GPRS que realiza la conexión a internet de esta manera enviando datos medidos de los sensores que nos permite realizar el monitoreo remoto a través de una página web. Para utilizar la shield GSM/GPRS es necesario insertar una tarjeta SIM de cualquier operadora disponible en nuestro país en este caso en Ecuador, en nuestro prototipo se utiliza un chip de la operadora claro.

Para realizar la comunicación serie es necesario configurar los Jumpers en un Arduino mega de manera que la comunicación se la realice por medio de los pines digitales 10 y 11 de la tarjeta realizando la respectiva conexión al shield GSM/GPRS mediante los pines 7 y 8 de esta manera tener la comunicación en serie entre el Arduino mega y el módulo de comunicación.



**Fig.3 28** Modulo de comunicación [Fuente Autor].

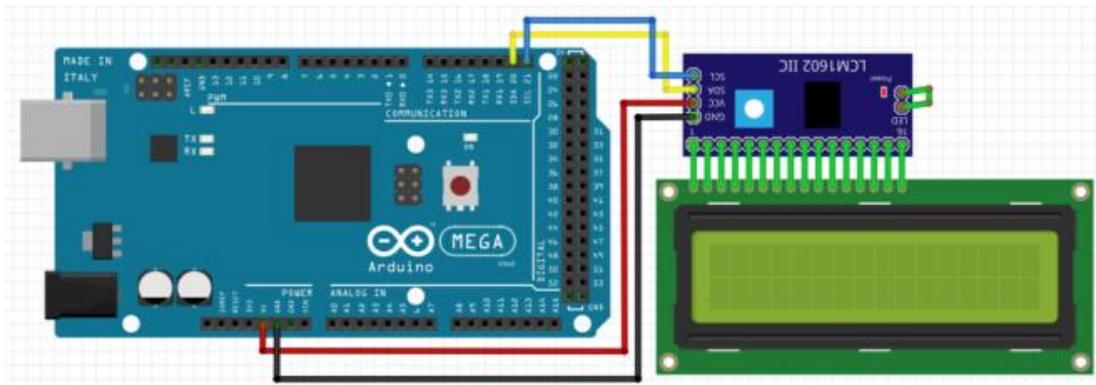
### 3.4 Implementación de los Módulos.

En esta etapa de investigación se procede a implementar de forma física las conexiones de los respectivos **módulos de sensores, módulos de procesamiento de datos y módulos de comunicación**, para realizar las respectivas pruebas de funcionamiento del mismo de forma local para lo cual también se utilizó materiales electrónicos como el LCD 20x4 para la visualización de datos, I2C para la conexión del LCD con el Arduino para disminuir los respectivos pines del Arduino, el teclado matricial 4x4 se utilizara para el activado y desactivado y reinicio del prototipo la Fig.3 29 la caja o el panel de monitoreo y control que muestra es solamente de prueba mientras el sistema este funcionando correctamente se utilizara otro material más reforzado para que soporte el agua el sol y entre otros componentes que puedan afectar al mismo.



**Fig.3 29** Caja de control y monitoreo [Fuente: Autor].

Para utilizar el LCD con I2C lo primero es soldar los pines entre el LCD y I2C respectivamente, una vez ya conectado se identifica los pines del I2C para la conexión con el Arduino, los pines VCC y GND se conecta a la fuente de 5v que proporciona el Arduino, para el TX y RX de datos al LCD los pines SDA y SCL respectivamente a los pines de Arduino SDA y SCL ver Fig.3 .30.



**Fig.3 30** Diagrama de conexión de LCD y I2C, Arduino [28].

### 3.4.1 funcionamiento del módulo I2C.

Modo I2C es un modo de comunicación serial que permite la transmisión y recepción de datos mediante el mismo hilo (SDA) también se utiliza el segundo hilo (SCL) que envía una señal de reloj de esta manera se envía los datos desde el Arduino al LCD para ser visualizado por usuario final.



**Fig.3 31** Comunicación I2C [Fuente: Autor].



**Fig.3 32** Prototipo [Fuente: Autor].

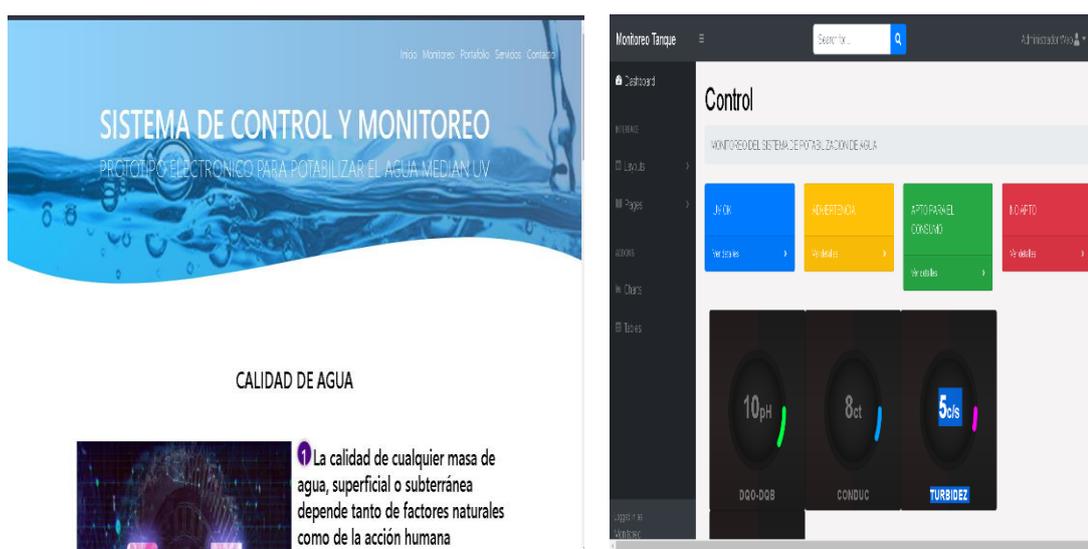
**Nota:** en la Fig.3. 32 muestra el montaje provisional del prototipo incluyendo los respectivos componentes explicados anteriormente.

## CAPITULO IV

En este capítulo se procede a realizar la interfaz gráfica para el respectivo monitoreo remoto del prototipo la cual tiene como objetivo monitorear el agua como es el turbidez, pH, conductividad estos parámetros se monitorean ya que si uno de estos parámetros son muy altas no será eficiente para esterilizar el agua, debido a que los rayos UV no penetran profundamente con partículas grandes como la materia orgánica, los microorganismos se protegen a través de la materia orgánica, esta es una de las desventajas por tal razón se realiza su respectivo monitoreo de la calidad agua fisicoquímico en tiempo real, las variables que se muestran en la página web son (pH, EC, Turbidez, TDS, UV) teniendo en cuenta estos datos se procede a diseñar la página donde se muestran estos datos para su respectivo monitoreo.

### 4.1 Monitoreo.

Para realizar este tipo de monitoreo remoto del prototipo se optó primero por crear una página web mediante el lenguaje HTML con el programa visual estudio, se logró la creación de la página como se puede ver en Fig. 4. 1 pero se tomó en cuenta varios factores primero obtener hosting y el dominio para su respectivo alojamiento en internet servidor donde se registre los datos de los sensores y entre otros por tal razón ya no se utilizó esta interfaz creada.



**Fig.4 1** Diseño de la Pagina [Fuente: Autor].

Para el objetivo de monitoreo de nuestro proyecto se realizó las investigaciones correspondientes que sea más sencilla el envío de datos en tiempo real de los sensores a un aplicativo web, durante varias investigaciones realizadas se optó por utilizar las plataformas gratuitas como es el internet de las cosas (IoT), teniendo en cuenta el iot que en este siglo ha ido evolucionando a unos pasos agigantados, muchas empresas e industrias en el mundo entero utilizan para el control y monitoreo de sus sistemas mediante las paginas IoT.

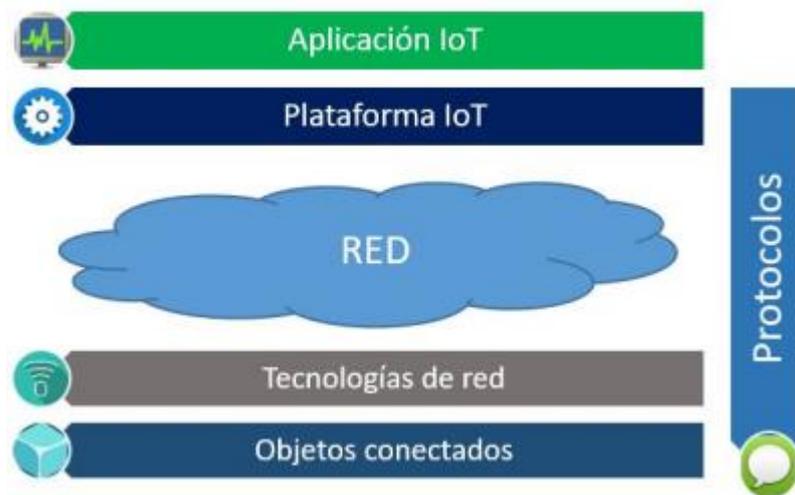
## 4.2 Tecnología IoT.

El internet de las cosas se basa en sensores, comunicación, redes y los datos que administra. Sensor es la definición de un sistema, Para usos más grandes, se vuelve más rentable, más pequeño en tamaño y volumen. Comodidad para todas las condiciones.

En los últimos años han aparecido distintos objetos que se pueden conectar al internet, estos pueden interactuar entre ellos enviándose datos y realizando distintas acciones dependiendo de la información.

Por lo cual se puede decir que el internet de las cosas es la integración de los sensores y dispositivos que se conectan al internet, los sensores son fácilmente integrables ya sea por su tamaño o coste para diseñar lo que se nos ocurra.

El IoT permite a la humanidad tener el control y monitoreo de todo lo que nos rodea, calidad de aire, temperatura, calidad agua, estos son unos ejemplos de los millones que existen en el mundo. Estos datos se pueden procesarse y almacenar permitiendo realizar distintas acciones como el monitoreo y control en el tiempo real.



**Fig.4 2** Tecnología IoT [29].

### 4.2.1 Componentes de los dispositivos IoT.

A continuación, se detallan los componentes necesarios que un dispositivo IoT debe tener para tener acceso al internet de las cosas.

#### 4.2.1.1 Microcontroladores.

Los microcontroladores son dispositivos de circuito integrado que procesan los datos analógico a forma digital para ser usado en diversos propósitos ya que son programables con la capacidad de ejecutar las ordenes almacenadas en su memoria, los microcontroladores están compuestos con (CPU) unidad central de proceso al igual que las funciones básicas de una computadora, periféricos y memoria de salida/

entradas, fuera de los microcontroladores existen distintos pines de entrada y salida para conectar un dispositivo.

Existe una plataforma muy conocida a nivel mundial para la programación de los microcontroladores la cual es el Arduino.

#### 4.2.1.2 Sensores.

Los sensores son dispositivos que captan los cambios de una determinada magnitud física, como pueden ser la humedad, pH del agua, la temperatura y transformarlo a una señal eléctrica, las señales eléctricas pueden ser interpretado por los microcontroladores que pueden estar conectado a un pin de entrada y salida.

Los sensores pueden ser digital o analógicas dependiendo de qué tipo de señal se esté trabajando, los sensores digitales son aquellos que generan señales discretas que se pueden tomar varios valores por ejemplo un valor de "0" representa un valor de nivel bajo o desactivado, una señal de "1" representa una señal de nivel alto, en cambio los sensores analógicos emiten un voltaje comprendido en dos valores que varían en función del valor que se esté midiendo ver Fig.

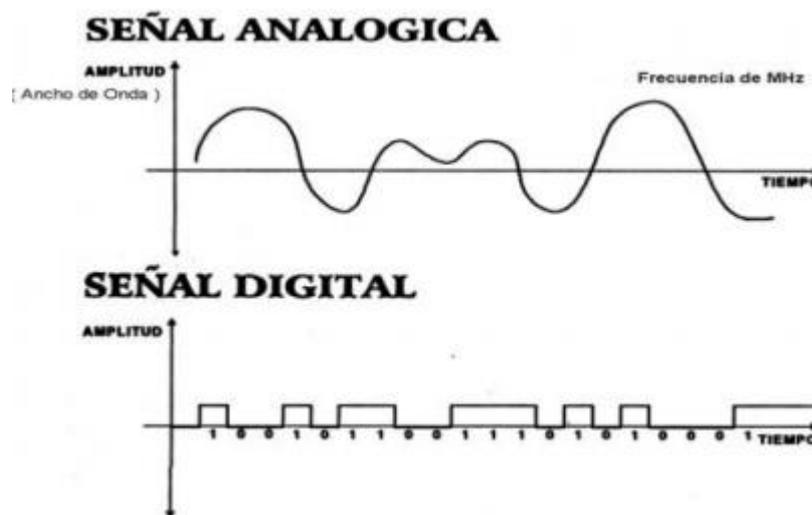


Fig.4 3 Señal analógica y digital [29].

#### 4.2.1.3 Tecnología de red.

Existen diferentes módulos de comunicación que nos permite conectar distintos dispositivos con la red de manera inalámbrica y de forma cableada. A continuación, se detallan los módulos de comunicación más conocidas en la actualidad.

**Ethernet:** es un estándar de conexión cableada para el área local de mayor difusión.

**Bluetooth:** son redes inalámbricas de área personal (WPAN) que transmiten datos y voz entre varios dispositivos mediante el enlace de radio frecuencia en la banda de ISM a una frecuencia de 2.4 Hz.

**ZigBee:** es una red de comunicación inalámbrica de alto nivel para su utilización con radiodifusión de bajo consumo basado en los estándares IEEE 802.15.4 de las redes inalámbricas de área personal.

**Wifi:** es una red inalámbrica a través del cual se pueden conectar distintos dispositivos como TV, impresoras, computadoras teléfonos inteligentes entre otros.

**Redes móviles:** son redes inalámbricas que conectan al dispositivo móvil, que tenga la total libertad de moverse en la zona cubierta por dicha red a una gran velocidad como el del coche o un tren sin perder la conexión los estándares existentes son los 3G, 4G, o el GRPS que dan distintas velocidades de transmisión.

### 4.3 Plataforma IoT.

Una plataforma IoT es una página o herramienta donde se registran todos los datos para ser visualizados son los encargados de la recepción y gestión de los datos obtenidos mediante los sensores, realizan sus funciones en tiempo real para controlar y monitorear distintas acciones.

Las plataformas IoT tienen las siguientes propiedades:

**Gestión de los dispositivos:** aseguran si los dispositivos están funcionando correctamente.

**Conectividad y normalización:** garantiza la interacción entre los distintos dispositivos soportando diferentes protocolos y diferentes datos de transmisión.

**Almacenamiento de datos:** almacena los datos en distintas bases de datos.

**Procesamiento y gestión de la acción:** debe aportar una serie de regla de acción que ejecuten eventos que permiten la ejecución en función de los datos obtenidos de los dispositivos.

#### 4.3.1 Plataforma software: dweet.io y freeboard.io

Para el presente trabajo de investigación se ha utilizado la red abierta **freeboard.io**, los motivos por el cual se ha utilizado esta plataforma son:

- Es una plataforma de código abierto.
- Tienen una integración sencilla con aplicaciones de terceros.
- Por su fácil configuración.
- Compatible con el Arduino
- Convierte un sistema de bajo coste.

##### 4.3.1.1 Dweet.io

Realizado el procesamiento de los datos de los sensores correspondientes en capítulo anterior, éstos son enviados a Dweet.io. Dweet.io es una plataforma que trabaja en conjunto con freeboard.io de mensajería para publicar y leer mensajes es una analogía a Twitter en donde el principio es publicar datos desde “cosas” o aparatos electrónicos conectados a Internet.

Para poder utilizar el dweets.io no es necesario registrarse solo hay que utilizar el mismo identificador hay que tener mucho cuidado con los identificadores ya que estos son públicos y puede ser utilizados por otro dispositivo

Para enviar los datos a dweets.io hay que utilizar el método POST del protocolo HTTPS con un url <https://dweet.io/dweet/for/A1?A1=> donde {A1? A1} es el nombre de los sensores ver Fig. 4. 4.

```
String datos = "POST https://dweet.io/dweet/for/A1?A1="
Serial3.println(datos);
delay(2000);
```

**Fig.4 4** envío de datos de sensores mediante el método POST [Fuente: Autor].

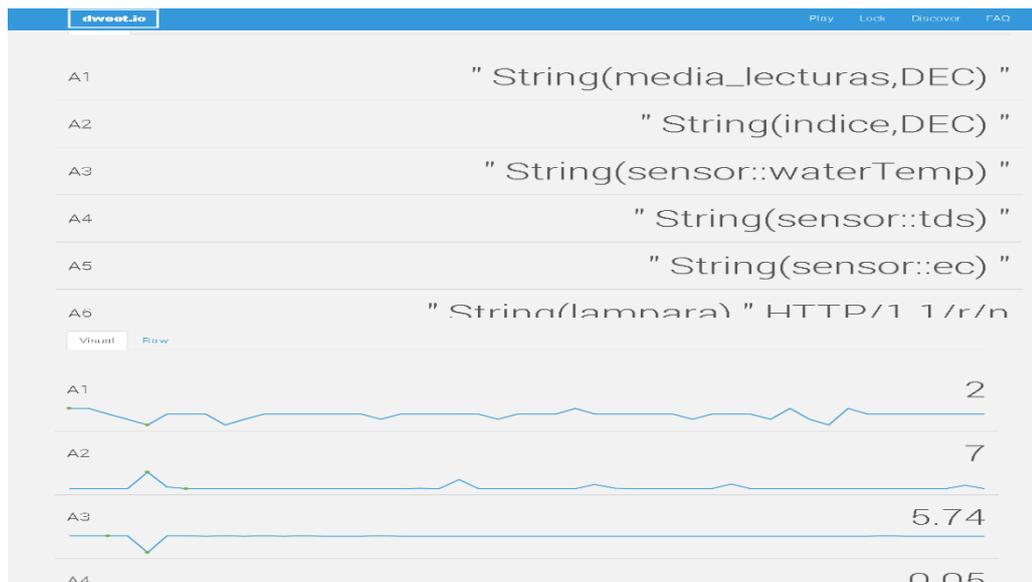
Para poder realizar la conexión y enviar datos a la plataforma dweet.io como ya se han mencionado los respectivos componentes de los dispositivos IoT son necesarios y fundamentales para nuestro proyecto.

Teniendo implementado todos los módulos ver sección 3.4, la programación se realiza utilizando el lenguaje de programación Arduino, el cual es un lenguaje de código abierto, portable, además, posee librerías y características poderosas adaptables a las diferentes necesidades de conexión a través de Internet utilizando diferentes tecnologías de red ver sección 4.2.1.3.

En nuestro trabajo de investigación utilizamos la tecnología de red inalámbrica redes móviles a través del módulo shield GSM GPRS la cual realizamos las respectivas programaciones mediante el lenguaje Arduino utilizando los comandos AT.

Los comandos AT fueron creados por los años 1977 por Dennis Hayes que provienen de la palabra “atención” fue creado con un objetivo controlar y configurar los módems desde un terminal y pc, de esta manera que todos los teléfonos móviles tienen un conjunto de comandos AT para configura sus terminales y dar instrucciones permitiendo realizar llamadas enviar mensajes enviar datos de voz y entre otras funciones.

En nuestro proyecto para trabajar con el módulo GSM/GPRS SIM 900 existe vario comandos AT ver sección 2.7 los cuales emos utilizado para la programación mediante el software Arduino para realizar la respectiva conexión con la plataforma dweet.io, para verificar los datos enviado a la plataforma colocamos el siguiente url <https://dweet.io/follow/A1?A1>. Ver Fig. 4. 5.



**Fig.4 5** Datos registrados por dweet.io [Fuente: Autor]

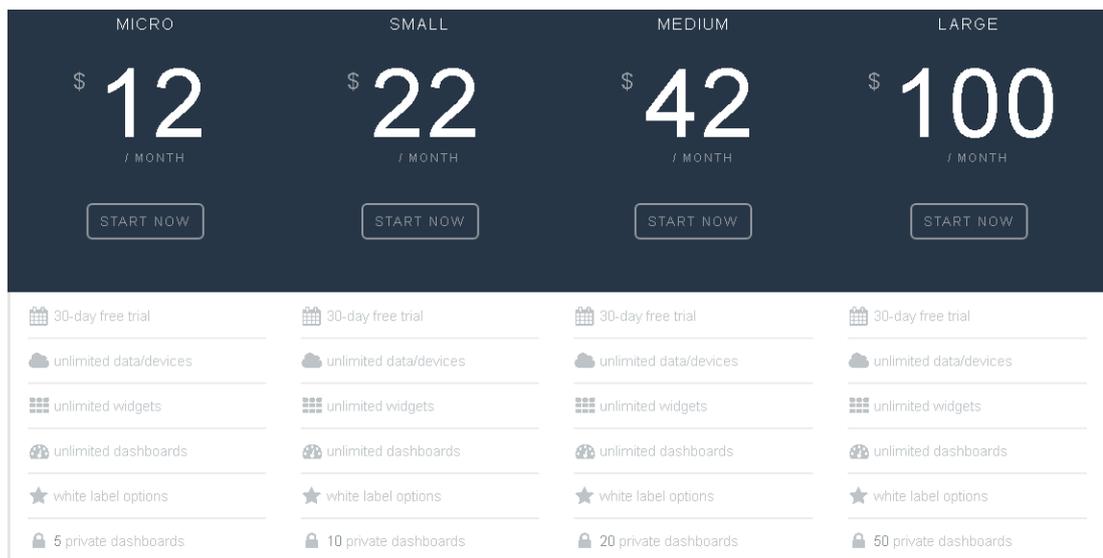
Los datos que observa en la graficas corresponde "A1" sensor de UVC, "A2" sensor TDS, "A3" sensor pH, "A4" sensor de turbidez, "A5" sensor Conductividad, "A6" led de estado de la lámpara UVC activado o desactivado.

#### 4.3.1.2 freeboard.io.

Freeboard.io es una plataforma abierta para interconectar persona con objetos, se caracteriza por ser una plataforma de Open Source en tiempo real desarrollado para IoT que está integrado con dweet.io, la aplicación consulta los datos mediante dweet.io y los muestra en una interfaz gráfica configurado por el usuario.

Para utilizar esta plataforma es necesario registrarse para disfrutar de sus servicios, en su configuración es muy sencilla únicamente hay que indicarle el url de dweet.io donde están ubicado los datos. Freeboard.io no es una plataforma sofisticada lo que hace conocido es por su facilidad de uso e integración con el Arduino.

Al igual que existe varias plataformas IoT, freeboard.io es gratuita, pero publica que cualquier persona puede acceder a visualizar los datos. También existe los planes de pago la diferencia con la versión gratuita permite ocultar el numero de dashboards dependiendo del plan que vaya a elegir ver Fig.4.6.



**Fig.4 6** Planes de contratación de freeboard.io [30].

Las características principales son los siguientes:

**Simplicidad:** se puede cambiar con facilidad rápidamente solo con arrastrar y soltar los distintos widgets según el usuario que requiera.

**Acceso privado o público:** según el plan se puede poner de forma privado para que ninguna otra persona puede acceder al mismo.

**Fuentes de datos flexibles:** se integran con dweet.io y se puede tener acceso a cualquier otra aplicación web.

**Desarrollo de widgets:** se puede crear con facilidad adaptando según la necesidad requerida por el usuario.

### 4.3.2 Aplicación IoT usando Arduino + freeboard.io

En esta etapa se procede a describir todo sobre el desarrollo del monitoreo remoto de los parámetros ya mencionados en los capítulos anteriores, haciendo el uso del microcontrolador Arduino mega 2560, al cual se coloca el shield GSM GPRS SIM900 que es compatible con el Arduino esto nos sirve para dotarle de comunicación a través de la red GRPS permitiendo la conexión a internet con una tarjeta de datos SIM claro.

Se utilizará también para el envío de alarmas por SMS a celulares móviles, de forma, que podamos interactuar con el prototipo dando a conocer si los parámetros fisicoquímicos estén correctos para saber si el agua esta apto para el consumo.



**Fig.4 7** Envío de datos de los sensores a freeboard.io [Fuente: Autor].

Como ya se ha venido mencionando en el capítulo anterior ya se realizó el montaje de la parte de hardware correspondiente a los módulos de sensores, módulos de comunicación y módulo de procesamiento de datos, una vez ya realizado esos pasos pasamos a la configuración de nuestra plataforma ya mencionada en la sección 4.3.

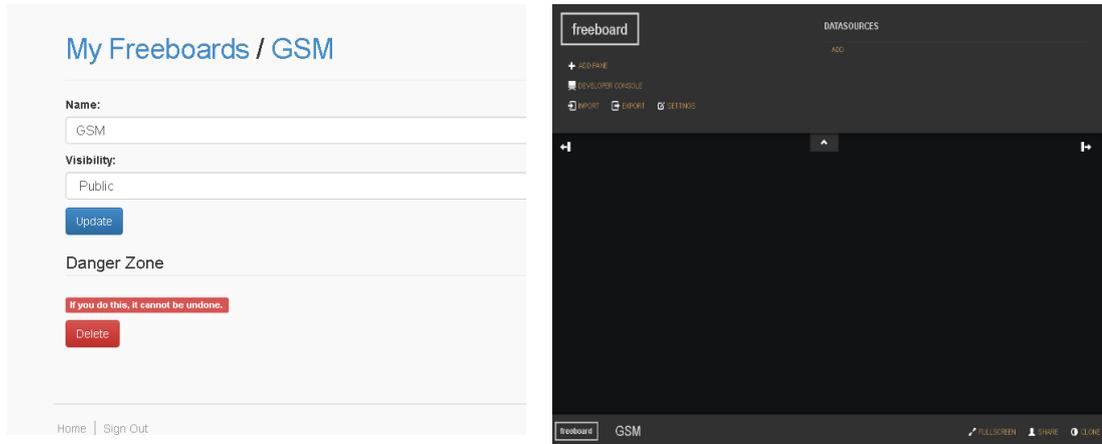
Lo primero que debemos realizar es dar de alta en nuestra plataforma para lo cual nos dirigimos a la siguiente página <https://freeboard.io/>

En el vínculo Sing Up creamos nuestra cuenta para dar de alta ver Fig. 4. 8.

La imagen muestra la interfaz de usuario de la página de registro de freeboard.io. En la parte superior, hay un encabezado con el logo 'freeboard' y el texto 'Home'. El título principal de la sección es 'Sign Up'. Hay tres campos de entrada de texto: 'Pick a Username:', 'Enter Your Email:' y 'Create a Password:'. Debajo de estos campos, hay un botón azul que dice 'Create My Account'.

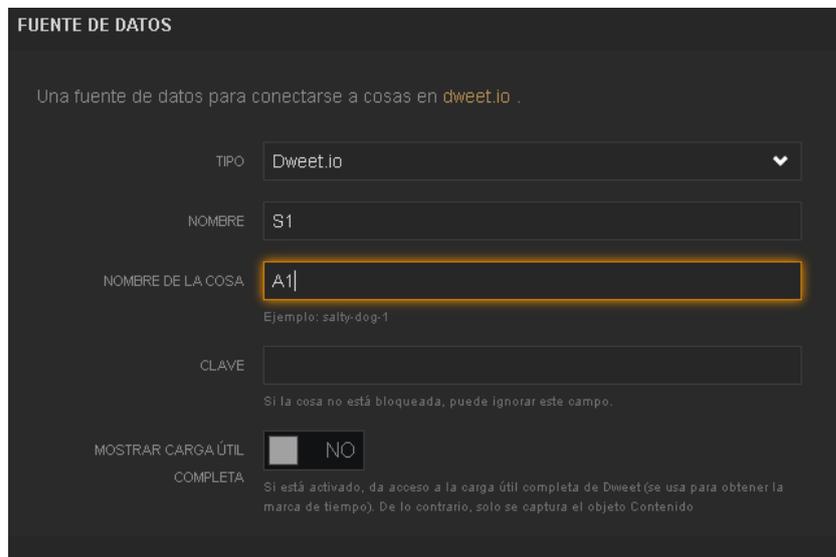
**Fig.4 8** Registro en la plataforma freeboar.io [Fuente: Autor].

Una vez ya creada la cuenta en la plataforma nos dirigimos a las pestañas de my Freeboards donde creamos panel de monitoreo en el cual vamos a configurar las variables que se van a visualizar.



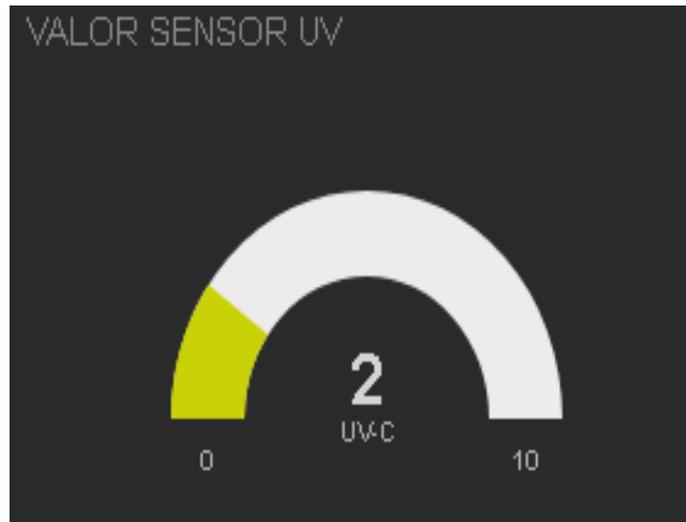
**Fig.4 9** Creación de Panel de visualización de la variable (pH, EC, Turbidez, UVC) [Fuente: Autor].

Una vez creado el panel con el nombre de GSM se procede a crear los respectivos canales, uno por cada variable que deseamos registrar, a continuación, rellenamos los siguientes campos, como ya se ha mencionado respecto al dweet.io en sección anterior 4.3.1.1 los datos registrados por los sensores se envían a la plataforma dweet.io primero, para poder visualizar esos datos de forma más grafica hacemos el uso de la plataforma freeboard.io como se puede ver en Fig. rellenamos los siguientes campos, tipo “dweet.io”, el nombre “S1” nombre de la cosa “A1” que representa al sensor UC-C de esta manera para cada uno de los variables que vamos a visualizar en la plataforma.



**Fig.4 10** Recepción de datos de dweet.io a la plataforma freeboard.io [Fuente: Autor].

Como resultado podemos ver la Fig.4 11.



**Fig.4 11** Resultado de visualización en la página freeboard.io [Fuente: Autor].

De esta manera se procedió diseñar toda la plataforma según nuestras necesidades ver Fig. 4. 12.



**Fig.4 12** Diseño de la plataforma IoT en freeboard.io [Fuente: Autor].

## 4.4 Envió de aletas mediante mensajes SMS.

En esta etapa procedemos con las alertas del prototipo, dichas aletas se envían mediante un mensaje de texto SMS a un teléfono móvil para lo cual utilizaremos las mismas instrucciones de los comandos AT mediante el uso del módulo shield GSM/GPRS.

Las alertas se envían cuando cualquiera de los parámetros de pH, TDS se alteren de la calidad de agua, como ya se mencionado los rango máximos y mínimos de pH, turbidez, EC, que debe tener para que el agua sea apta para el consumo humano en los capítulos anteriores, teniendo todo esto en cuenta se procede a realizar las respectivas programaciones mediante el IDE Arduino haciendo el uso de los comandos AT.

### 4.4.1 Comandos AT para envió de mensajes SMS.

Los comandos AT son ordenes que da un microcontrolador a un módulo shield GSM/GPRS para llevar a cabo las funciones requeridas, los comandos AT para el envió de mensajes son los siguientes:

**AT+CMGF=<modo>** el modo es la especificación de qué modo se va a enviar los mensajes, existe 2 modos de envió de mensajes las cuales son “0” y “1” modos “0” es para enviar por protocolo PDU es da fácil envió, los contenidos enviados mediante el PDU no se codifican y descodifica, mientras que el valor “1” es de modo texto envía los mensajes en modo texto estos son codificados y descodificados, en nuestro trabajo de investigación utilizamos el modo “1” de modo texto.

```
Serial3.println("AT+CMGF=1\r");
mostrarDatosSeriales();
delay(200);
```

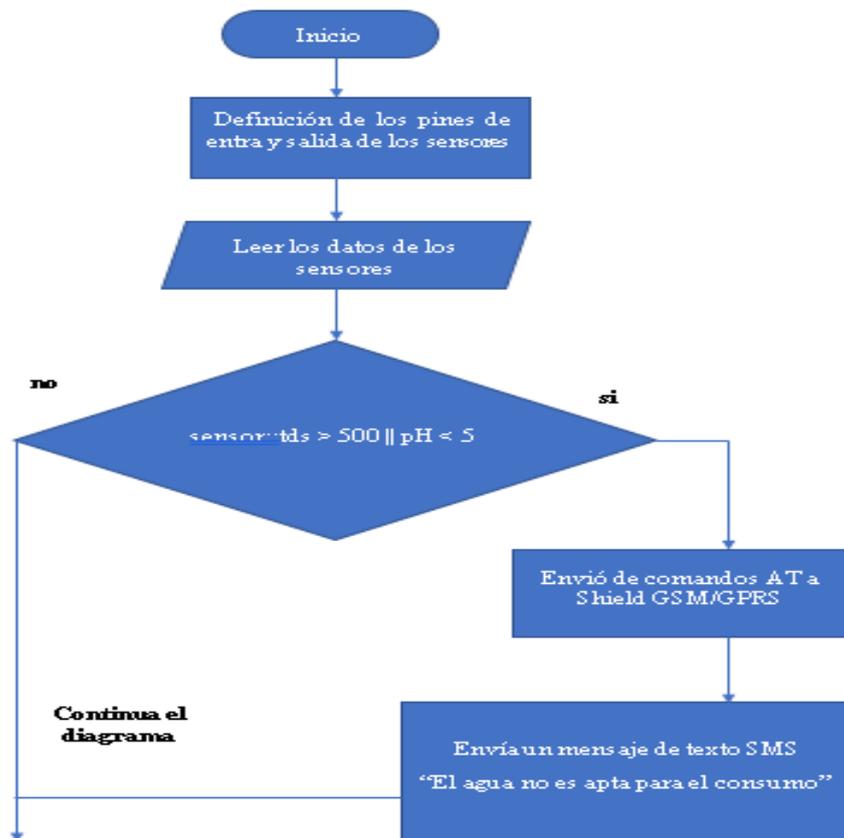
**AT+CMGS** este comando sirva para registra un numero celular al cual se va a enviar el mensaje de texto, el numero debe ir en formato Internacional.

```
Serial3.println("AT+CMGS=,+593998649566\r");
mostrarDatosSeriales();
```

### 4.4.2 Diagrama de flujo de envió de aletas.

El diagrama de flujo muestra cómo funciona el sistema de alertas enviando el mensaje SMS del prototipo a continuación se detallan los pasos definidos en el diagrama.

- Definimos los pines de entra y salidas de cada sensor
- Se proceden a leer los datos de los sensores
- Si la condición cumple envía comandos AT a inicializar y conexión del módulo GSM/GPRS SIM 900, y enviar la alerta respectiva del prototipo
- Si no se cumple vuelve ejecutar el diagrama



**Fig.4 13** Diagrama de Flujo de envío de alertas [Fuente: Autor].

Como podemos visualizar en el diagrama de flujo el prototipo envía una aleta a un teléfono móvil, estas alertas se producen cuando los parámetros fisicoquímicos se alteran como el pH, Turbidez, conductividad y TDS (solidad disueltos totales).

En la siguiente Fig. 4 .14 podemos visualizar las respectivas programaciones realizada para el envío de mensajes de alertas del prototipo cada código ya fue explicado en la sección anterior

```

if (sensor::tds > 500 || pH < 5 ){
Serial3.println("AT+CMGF=1\r");//ENVÍA DATOS A TRAVÉS I
mostrarDatosSeriales();
delay(200);

Serial3.println("AT+CMGS=\"+593998649566\"");//ENVÍA Di
mostrarDatosSeriales();
delay(200);
Serial3.println("El agua no es apta para el consumo");
mostrarDatosSeriales();
delay(200);
Serial3.println((char)26);
delay(200);
Serial3.println();
contador = contador+1;
}
  
```

**Fig.4 14** Código para enviar las alertas [Fuente: Autor].

## CAPITULO V

### IMPLEMENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Introducción

Para el presente trabajo de investigación, se logró cumplir con los objetivos planteados al inicio, diseño e implementación de un prototipo para la potabilización de agua mediante esterilizador ultravioleta monitoreado de forma remota en la Parroquia Punín. Se logró el diseño, gracias a la aplicación del software autodesk inventor basados en la recolección de datos, sugerencias e información necesaria.

Una vez terminado el diseño del prototipo de desinfección con aplicación de radiación Ultravioleta, se realizó las pruebas del prototipo de desinfección y comprobar su efectividad.

#### 5.2 Banco de pruebas

En esta etapa se da a conocer los resultados del análisis del prototipo de potabilización de agua mediante la esterilización ultravioleta, las respectivas pruebas realizadas son los siguientes.

- Análisis del funcionamiento del prototipo
- Análisis de eficiencia el prototipo.

##### 5.2.1 Análisis del funcionamiento del prototipo

Se realizo el respectivo análisis del funcionamiento del reactor UVC, el análisis consiste en pruebas del filtrado de agua del reactor, la capacidad del caudal de agua de acuerdo con el objetivo planteado, funcionamiento de la lámpara UVC dentro del reactor.



**Fig.5 1** Análisis de funcionamiento del reactor UVC [Fuente: Autor].

Las pruebas se realizaron con éxitos dando como resultado que no existe ningún filtrado de agua tanto por la parte interna y externa del reactor UVC al caudal de agua

que hemos planteado 3.021l/s, de la misma forma se realizó el análisis de funcionamiento de la lámpara UV dentro del reactor con un flujo de agua a dicho caudal, durante las pruebas no se tuvo ningún inconveniente con la lámpara, dando como resultado que la lámpara soporta dicho caudal de agua como se puede ver en la Fig. 5. 2 el efecto de la radiación UV en el agua. De esta manera se pudo constatar el excelente funcionamiento del reactor UV, en las siguientes pruebas se realiza la efectividad de esterilización del agua mediante la radiación UV para lo cual se envía muestras de agua a 3s de exposición a la radiación a un laboratorio para su respectivo análisis microbiológico.



**Fig.5 2** Prueba de funcionamiento de lámpara UVC dentro del reactor [Fuente:

De igual forma se implementaron los respectivos sensores y dispositivos electrónicos adecuados que ajusten a los requerimientos del prototipo los cuales son los sensores medición de intensidad UVC de la lámpara dentro del reactor, el sensor está ubicada a un extremo del reactor encima de la lámpara ver Fig. 5.3 ya que este tipo de sensores no se pueden sumergir dentro del agua por tal razón el resultado de la medición de la intensidad de la lámpara es muy baja dando valores de 1 a 100, en este caso el sensor mide la intensidad de radiación UVC cuando está activo la lámpara, y dando valores de 0 cuando la lámpara este desactivado.



**Fig.5 3** Sensor UV [Fuente Autor].

De esta manera el prototipo también cuenta con un teclado matricial, el cual su función es activar y desactiva el prototipo cumpliendo exitosamente su objetivo.

### Medición de los parámetros de la calidad de agua entubada

Cabe recalcar que estos parámetros fisicoquímicos del agua cumplen un objetivo importante dentro del reactor que, si los parámetros fisicoquímicos del agua se encuentran fuera de los rangos definidos, lo cual indica que la radiación UV no será eficiente para desinfectar el agua por tal razón se envía alertas al usuario de la forma automática cuando se encuentre fuera de los rangos definidos.

Durante las primeras pruebas realizadas de los parámetros de calidad de agua de la Parroquia Punín mediante los sensores de conductividad y turbidez, pH durante una semana los valores obtenidos fueron muy altas fuera de los rangos permitidos como se muestra en la Tabla.5.1, TDS (Solidos Disueltos Totales), EC (Conductividad), Tur (Turbidez), pH, teniendo muy en claro que la radiación UV es un método no intrusivo que no afecta a los parámetros fisicoquímico de agua, los parámetros muy altos hacían que se envíen las aletas a cada instante al usuario ver Fig.5.4.

**Tabla.5 1** Prueba N1 de calidad de agua del prototipo [Fuente: Autor].

Fecha	PARÁMETROS LIMITE PERMISIBLE NORMA NTE INEN 1108											
	pH (Unit)	6,5 -8,5		TDS (PPM)	500 ppm		EC (uS/s )	1500uS/cm		Tur (NTU)	5 NTU	
		Cumple			Cumple			Cumple			Cumpl e	
		si	no		si	no		si	no		si	no
Martes	21		x	1700		x	2.03		x	30		x
Miércoles	20		x	1500		x	4.05		x	35		x
Jueves	19		x	1650		x	2.05		x	19		x
Viernes	20		x	2002		x	3.01		x	15		x
Sábado	17		x	1304		x	6.02		x	19		x



**Fig.5 4** Mensajes de aletas mediante SMS [Fuente: Autor].

Dada las pruebas anteriores mencionados se procedió a la revisión de la programación del Arduino Mega 2560 corrigiendo las misma, realizando las respectivas calibraciones de los sensores parte de esta ejecutándose en un segundo periodo de pruebas obteniendo las mediciones coherentes a los objetivos planteados.

**Tabla.5 2** Prueba N2 de calidad de agua del prototipo [Fuente: Autor].

Fecha	PARÁMETROS LIMITE PERMISIBLE NORMA NTE INEN 1108											
	pH (Unit)	6,5 -8,5		TDS (PPM)	500 ppm		EC (uS/s)	1500uS/cm		Tur (NTU)	5 NTU	
		Cumple			Cumple			Cumple			Cumple	
		si	no		si	no		si	no		si	no
Martes	7.73	x		283	x		0.57	x		2.12	x	
Miércoles	8.01	x		341	x		0.59	x		2.09	x	
Jueves	8.15	x		323	x		0.56	x		2.12	x	
Viernes	7.74	x		373	x		0.57	x		2.14	x	
Sábado	7.99	x		373	x		0.56	x		2.10	x	

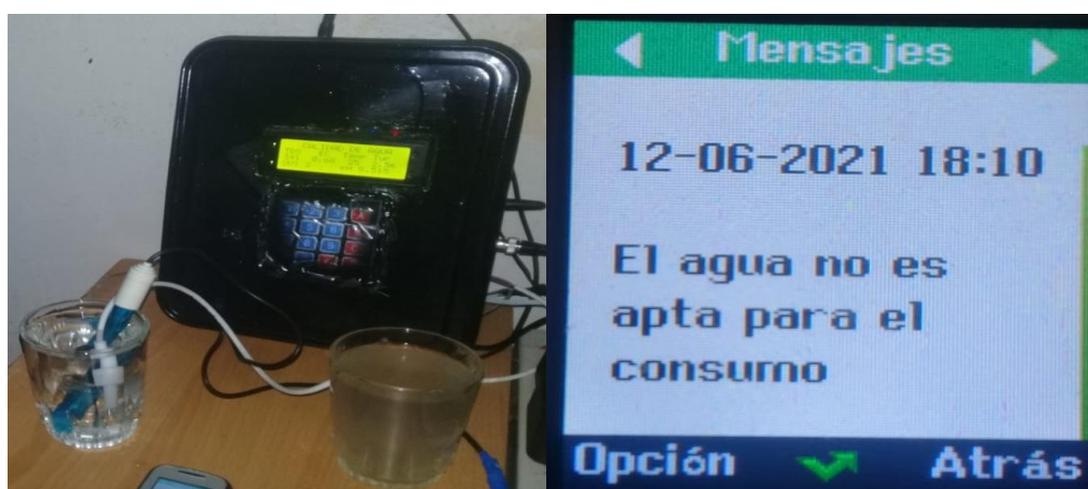
### Pruebas de alertas del prototipo.

Durante el segundo periodo de pruebas los resultados obtenidos no se emitían ningunas alertas ya que no se sobrepasaban de los rangos de calidad de agua mencionados teniendo en cuenta que es muy poco probable que se sobrepase los niveles permitidos

Dada las pruebas relatadas se realizó otras pruebas con los sensores fuera del reactor donde se procedió con las muestras de agua que se consume y con el agua contaminada para saber si el prototipo envía las alertas al teléfono móvil teniendo los resultados de manera exitosa ver Tabla. 5.3.

**Tabla.5 3** Pruebas de Alertas del prototipo [Fuente: Autor].

Muestras	PARÁMETROS LIMITE PERMISIBLE NORMA NTE INEN 1108											
	pH (Unit)	6,5 -8,5		TDS (PPM)	500 ppm		EC (uS/s)	1500uS/cm		Tur (NTU)	5 NTU	
		Cumple			Cumple			Cumple			Cumple	
		si	no		si	no		si	no		si	no
Agua de consumo	7.73	x		373	x		0.56	x		2.1	x	
Agua Contaminada	9.6		x	750		x	3.8	x		15		x



### Pruebas del monitoreo remoto.

El prototipo cuenta con un LCD donde se puede visualizar todo los parámetros mencionados anteriormente, pero los tanques de reservorio quedan a 1 kilómetro de distancia en donde está el prototipo implementado, si llega un mensaje de alerta es posible que el usuario o administrador de agua tenga que ir a verificar en lugar para saber cuál de los parámetros están afectando o en caso de que se malogro la lámpara dentro del prototipo y es difícil de saber, por tal motivo se diseñó una página web mediante el IoT, dando a conocer todo los parámetros de prototipo mediante la red GSM/GPRS para tener un monitoreo constantes desde cualquier parte del mundo, se realizó las pruebas correspondientes al monitoreo remoto, él envió de datos hacia la plataforma web se actualiza cada 10s, dando las pruebas realizadas de manera exitoso en el lugar.

En la parte derecha de la página web se observa el monitoreo del estado de lámpara dentro reactor lo cual nos indica si el estado de la lámpara esta encendido o apagado, en caso de que se malogre la lámpara UV dentro del reactor tenemos los valores de sensor UV el cual nos daría un valor de la intensidad desde 1 a 100, este valor daría 0 en caso de que se quemó la lámpara dando a conocer a los Administradores de agua la pronta reparación del mismo las pruebas de funcionalidad del prototipo se concretaron de manera exitosa pudiendo visualizar todo los parámetros de manera concreta.



**Fig.5 5** Análisis de eficiencia el prototipo [Fuente: Autor].

La cantidad de agua no tratada de acuerdo con el diseño del prototipo elaborado fue de 3.021 l/s que recorre la partícula por medio del reactor,

La tabla. 5.4, presenta el análisis microbiológico realizado por [2, p. 51], donde se aprecia que el agua sin tratamiento no es apta para el consumo humano, debido a los niveles de microorganismos coliformes fecales y totales, aeróbicos esto es debido a la presencia de heces de los animales y de humanos cercas de los afluentes de agua, contaminando de esta forma el líquido vital.

Finalmente, el agua fue sometida a radiación ultravioleta dentro del prototipo diseñado la cual tiene una duración de 3 segundos para desactivar los microorganismos, Una vez concluido el proceso se realizó el análisis microbiológico mediante los Laboratorios de Servicios Ambientales ubicado en la Universidad Nacional de Chimborazo que se encuentra en la Avenida Antonio José de Sucre Km 1 1/2 vía Guano, Campus Edison Riera, Facultad de Ingeniería Bloque B, segundo piso en el mes de junio del 2021 dando los resultados los coliformes totales y fecales con una ausencia menor a 1 UFC/ml de los microorganismo de acuerdo con la norma NTE INEN 1108 de la calidad de agua dando como respuesta apto para el consumo humano los mismos valores se muestran en la Tabla.5.4.

**Tabla.5 4** Resultado de prueba microbiológica del agua [Fuente: Autor].

<b>Características</b>	<b>Agua sin tratamiento</b>	<b>Agua tratada</b>	<b>Valores de referencia</b>
Coliformes Totales	<b>22 UFC/mL</b>	<b>0 UFC/mL</b>	<b>&lt; 1 (Ausencia)</b>
Coliformes Fecales	<b>9 UFC/mL</b>	<b>0 UFC/mL</b>	<b>&lt; 1(Ausencia)</b>
Aeróbicos	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>	
Observaciones	<b>Agua no apto para el consumo</b>	<b>Agua apta para el consumo</b>	<b>Apta</b>

Finalmente, los resultados obtenidos muestran que el prototipo implementado permite potabilizar el agua de una manera eficiente, con capacidad de 3.02 litros por segundo pasando de forma constante el flujo de agua por el reactor, el nivel de pH medido fue de 7,3 unidades, turbidez alcanzada es de 2.56 NTU, la concentración TDS fue de 373 mg/L, respecto al análisis microbiológico dando los resultados de forma óptimos para el consumo humano los mismo que se pueden observar en la Tabla. 5 4 y en los anexos G el informe de calidad de agua microbiológica realizada de la Parroquia Punín.

## CONCLUSIÓN

- El desarrollo del siguiente trabajo de investigación de potabilización de agua mediante esterilizador UV maneja un caudal de 3,02 l/s., utiliza 1 lámpara UV-C con una potencia de salida de 40 W que son diseñado en base a vapor de mercurio a baja presión. La principal longitud de onda emitida fue de 254 nm. Cuyas medidas del prototipo diseñado son 12000 x 16 cm, la distancia entre la lámpara UV y la pared del reactor debe ser 5.75 cm, para que la radiación UV pueda penetrar en el cuerpo de agua
- Con el desarrollo del siguiente trabajo de investigación, se corrobora la eficiente del prototipo en potabilizar el agua mediante la radiación ultravioleta a un tiempo de exposición de 3 segundos esterilizando el agua a un 99.9% de los microorganismos existentes.
- El prototipo implementado presento su veracidad apropiada a los resultados obtenidos con el agua tratada, donde se evidencia en el análisis microbiológico, la cual es apta para el consumo humano, con niveles de microorganismos, coliformes fecales y totales menor a 1 ufc/ml, aeróbicos menor a 91 ufc/ml.
- El prototipo cuenta con un sistema de control y monitoreo donde se puede visualizar todos los parámetros como el estado de lámpara la calidad de agua fisicoquímico a través de una interfaz de LCD.
- El prototipo envía alertas mediante los mensajes SMS automatizados al usuario cuando sobrepasen los niveles de los parámetros de calidad de agua fisicoquímicos.
- El monitoreo del prototipo permite llevar el control de calidad agua y estado del reactor UV dando a conocer al usuario que tipo de agua se está consumiendo, haciendo confiable al prototipo.
- Se diseño una página web mediante IoT para facilitar el acceso a toda la información de los parámetros del prototipo y calidad de agua en tiempo real que se puede visualizar desde cualquier parte del mundo haciendo el uso GSM que envía los datos a la página web.
- La utilización del microcontrolador Arduino como plataforma de desarrollo para este tipo de proyectos, es seguro, pues posee soporte web, dispositivos y módulos compatibles de múltiples aplicaciones, disponibles en el mercado además que su programación es fácil.
- La tecnología GPRS y GSM son indispensables para desarrollar sistemas electrónicos de monitoreo remoto, debido a la convergencia de red al compartir la misma infraestructura y compatibilidad con las tecnologías nuevas especialmente el acceso a la red de datos.

## RECOMENDACIONES

- En los trabajos futuros se recomienda que la construcción del reactor UV sea con un material inoxidable, que no sea transparente ya que la radiación afecta al ser humano.
- Se recomienda realizar exámenes de laboratorio periódicamente a la calidad de agua microbiana que son desinfectados con radiación Ultravioleta, el control de calidad para el prototipo también es importante, por lo que se recomienda, realizar exámenes.
- Se recomienda hacer un debido control del prototipo de potabilización de agua recordar también que el prototipo de potabilización de agua requiere de un mantenimiento semestral, para poder evaluar la efectividad de los equipos de aplicación y las condiciones en las que se encuentra.
- Se debe procurar que los sistemas de captación del agua no estén al aire libre ya que el ingreso de cualquier material grande puede interferir con la emisión de la lámpara y bajar el rendimiento del prototipo.
- Implementar nuevos sensores que puedan medir el nivel de microorganismo existentes en el agua.
- Utilizar la red de telefonía celular GSM/GPRS para respectivo monitoreo, por la capacidad, servicios y la alta disponibilidad de dispositivos soportados por estas tecnologías en zonas más remotas del país.
- Para los trabajos futuros se recomienda desarrollar una aplicación que trabaje en el lenguaje de programación PHP que pueda también almacenar los datos obtenidos por los sensores con fecha hora y año permitiendo crear interfaces dinámicas.

## Referencias Bibliográficas

- [1] R. I. d. P. y. D. d. Agua, Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales, 2015.
- [2] Yubaille, «Evaluación de la calidad física, química, microbiológica y resistencia bacteriana del agua de consumo humano de la Parroquia Punín cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.,» *ESPOCH*, p. 57, 2017.
- [3] Punín, «Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia de Punín,» 2021. [En línea]. Available: <https://gadparroquialdepunin.blogspot.com/p/h.html>.
- [4] H.B. Wright y W.L. Cairns, «Desinfección de Agua por medio de luz ultravioleta,» *Trojan Technologies Inc*, 2014.
- [5] J. Vargas, «Desarrollo de un sistema electrónico que aporta a la potabilización de agua mediante electrofloculación, ozonificación y radiación ultravioleta,» *Espacios*, vol. 39, nº 39, p. 1, 2018.
- [6] S. Remigijus, «Medium treatment using ultraviolet light,» p. 1, 2015.
- [7] A. & M. D. De la Cruz, «Eliminación de E. coli y Pseudomonas aeruginosa de agua potable usando sistema de desinfección con luz ultravioleta y óxido de titanio,» *CENTROS*, vol. 8, nº 1, p. 1, 2019.
- [8] M. Turtoi, «Ultraviolet Light Potential For wastewater Disinfection,» *ResearchGate*, vol. 14, nº 14, pp. 153 - 164, 2013.
- [9] international Aquafeed, «Tecnología UV en la Acuicultura,» 2019. [En línea]. Available: <https://aquafeed.co/entrada/tecnologia-a-uv-en-la-acuicultura-20025/>.
- [10] T. Koutchma, «Advances in Ultraviolet Light Technology for Nonthermal Processing of Liquid Foods,» *ResearchGate*, vol. 2, nº 138, pp. 138 - 155, 2019.
- [11] S. E. Beck, «UV LED Disinfection 101,» *researchgate*, vol. 20, nº 1, pp. 4 - 9, 2018.
- [12] Lenntech, «Tratamiento de agua & purificación,» s.f.. [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/sistemas/-uv-disinfection.htm>.
- [13] I. González Ruiz., Monitorización de la calidad de aguas pluviales vertidas a cauce público en entornos industriales mediante tecnología low cost, Universidad de Sevilla, Ingeniería Química y Ambiental, 2016.
- [14] Antony García González, «Panamahitek,» 2021. [En línea]. Available: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>.

- [15] Arrow, «Arduino uno vs, arduino mega,» [En línea]. Available: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-vs-mega-vs-micro>.
- [16] G. Castellanos, «Email using the voice,» *researchgate*, 2014.
- [17] GPRS, «Servicio General de paquetes via radio,» 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/DrreckF/gprs-7529983>.
- [18] R. Gutierrez, Diseño para Sistemas de abastecimiento de agua potable en el area rural de la Parroquia Punin, Riobamba, 2018.
- [19] A. Cabral, Efecto de la radiación ultravioleta sobre la calidad de hortalizas deshidratadas, 2017.
- [20] Luz Germicida, «Desinfección con Luz Ultravioleta UV-C,» 2020. [En línea]. Available: <https://luzgermicida.cl/luz-ultravioleta-germicida/>.
- [21] Robótica con arduino , «Ondas ultravioletas,» 2020. [En línea]. Available: <https://arduino123.blogspot.com/p/ondas-ultravioleta.html>.
- [22] Victor Ventura, «Sensor de radiación ultravioleta con Arduino,» [En línea]. Available: <https://polaridad.es/sensor-radiacion-ultravioleta-arduino-indice-uv-uvvm30a-guva-s12sd/>.
- [23] Publiagua, «NOM COFEPRIS FDA (En proceso) Calidad del agua,» 2019. [En línea]. Available: <https://publiagua.jimdofree.com/publiagua/calidad-del-agua/>.
- [24] Electrostore, «Sensor de turbidez analogico r3 + tarjeta acondicionadora,» 2020. [En línea]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/agua/sensor-de-turbidez-analogico-r3-tarjeta-acondicionadora/>.
- [25] aguapuraysana, «pH del agua destilada es ácido, alcalino o neutro,» 2020. [En línea]. Available: <https://aguapuraysana.com/ph-del-agua-destilada-acido-basico/>.
- [26] P. M. Martín, «monitorización de la calidad de aguas pluviales vertidas a cauce público en entornos industriales mediante tecnología low cost.,» 2016, p. 20.
- [27] Solucion Calibradora de PH calibracion de Medidor de PH, «Solucion Calibradora de PH calibracion de Medidor de PH,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/Sobres-Solucion-Calibradora-calibracion-Medidor/dp/B0762Z6BZZ>.
- [28] Enrique Latorres, «Projects and Ideas,» 2021. [En línea]. Available: [http://enrique.latorres.org/es\\_ES/2017/10/20/arduino-i2c-lcd-display-project-with-malpartida-library/](http://enrique.latorres.org/es_ES/2017/10/20/arduino-i2c-lcd-display-project-with-malpartida-library/).
- [29] J. S. Serrat, Almacenamiento y visualizacion de datos procedintes de dispositivos IoT, Merida, 2017.
- [30] Freeboard, «Freeboard,» 2021. [En línea]. Available: <https://freeboard.io>.

- [31] F. C. & Mortier, «Evaluación de la condición del aguapara consumo humano en Latinoamérica,» de *Evaluación de la condición del aguapara consumo humano en Latinoamérica*, Buenos Aires, 1990, p. 19.
- [32] Tecnologías para la Industria Alimentaria, «Luz ultravioleta en la conservación de alimentos,» de *Luz ultravioleta en la conservación de alimentos*, 2015, p. 9.
- [33] T. Koutchma y F. Larry, «Ultraviolet Light in Food Technology: Principales and Applications,» *ResearchGate*, vol. 4, n° 4, 2009.
- [34] F. y. M. J. P. Sosona, *Desinfección del agua*, Lima: EPA, 2002.
- [35] G. R. Calderon, *Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de agua residuales a base de luz ultravioleta*, Cuenca, 2014.
- [36] A. R. Lopez, *Implementación de un sistema de desinfección de agua mediante luz ultravioleta alimentado por energía solar mediante paneles fotovoltaicos en la hostería san adres, en el cantón morona, provincia de morona Santiago., Quito, 2016.*
- [37] Flux Workshop, «UVM-30A Ultraviolet Sensor Module,» Sebastian Karam, 12 July 2019. [En línea]. Available: <https://fluxworkshop.com/blogs/getting-started/lets-workshop-uvm-30a-ultraviolet-sensor-module>.
- [38] B. J. A. H. Choque, *Diseño de un sistema de desinfección de envases en el proceso de envasado de agua alcalina “andea” de la empresa cervecías cusco s.a, Cusco - Peru, 2018.*
- [39] M. A. A. Flores Chávez. y J. F. Rodríguez Castro, *Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo automatizado para el cultivo del café usando tecnología de microcontrolador y estableciendo un sistema de control inalámbrico en la comunidad de totogalpa, Nicaragua: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA RECINTO UNIVERSITARIO SIMON BOLIVAR, FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION, 2018.*

# ANEXOS

## ANEXO A: DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL PROTOTIPO

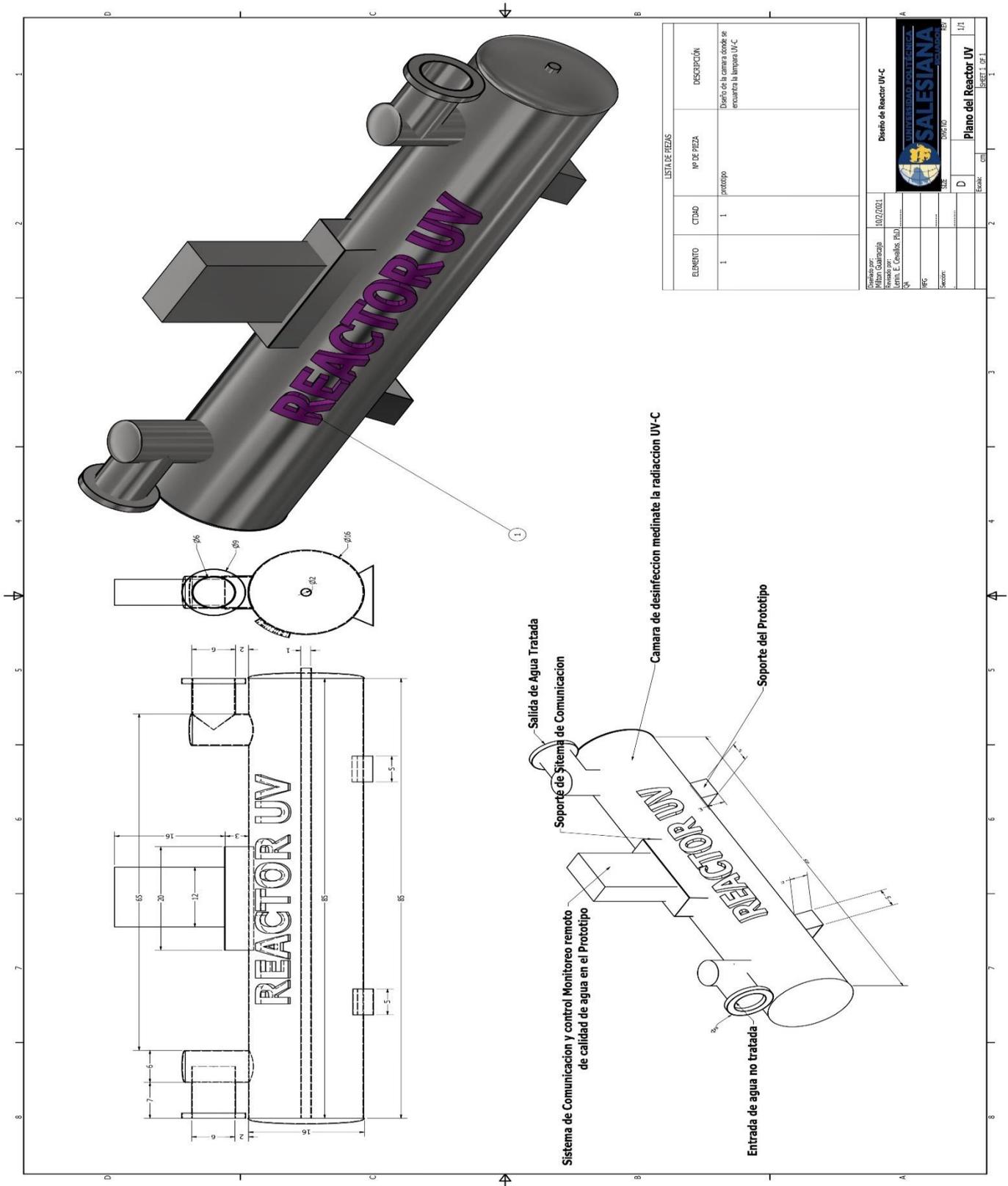


Fig.A 1 Plano del diseño del Reactor [Fuente: Autor].



**Fig.A 2** Construcción del Prototipo [Fuente: Autor].



**Fig.A 3** Colocación de la lámpara UV dentro del Reactor [Fuente: Autor].

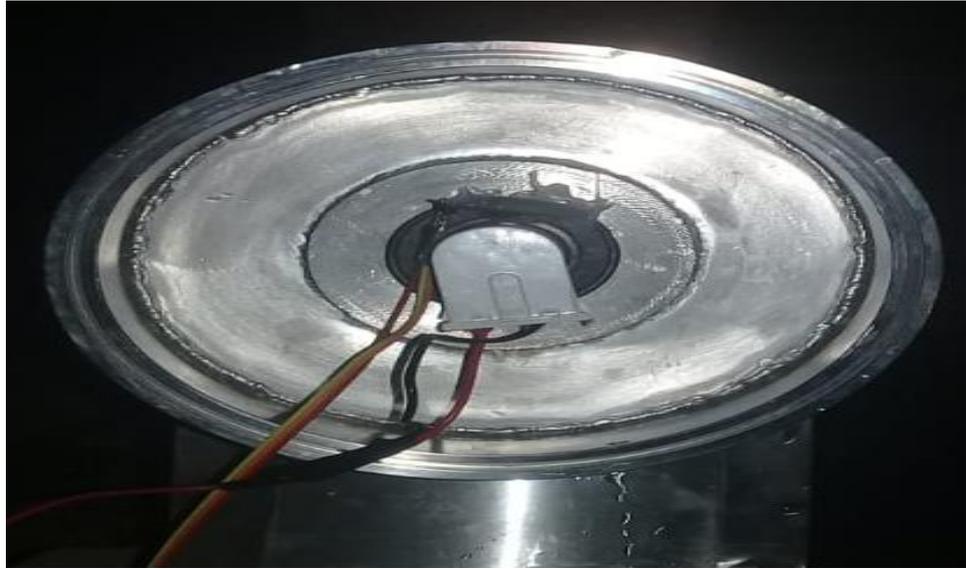


**Fig.A 4** Final de la Construcción del reactor UV [Fuente: Autor].

**ANEXOS B: ARMADO DE MÓDULOS DE SENSORES, MÓDULOS COMUNICACIÓN, MÓDULO DE CONTROL.**



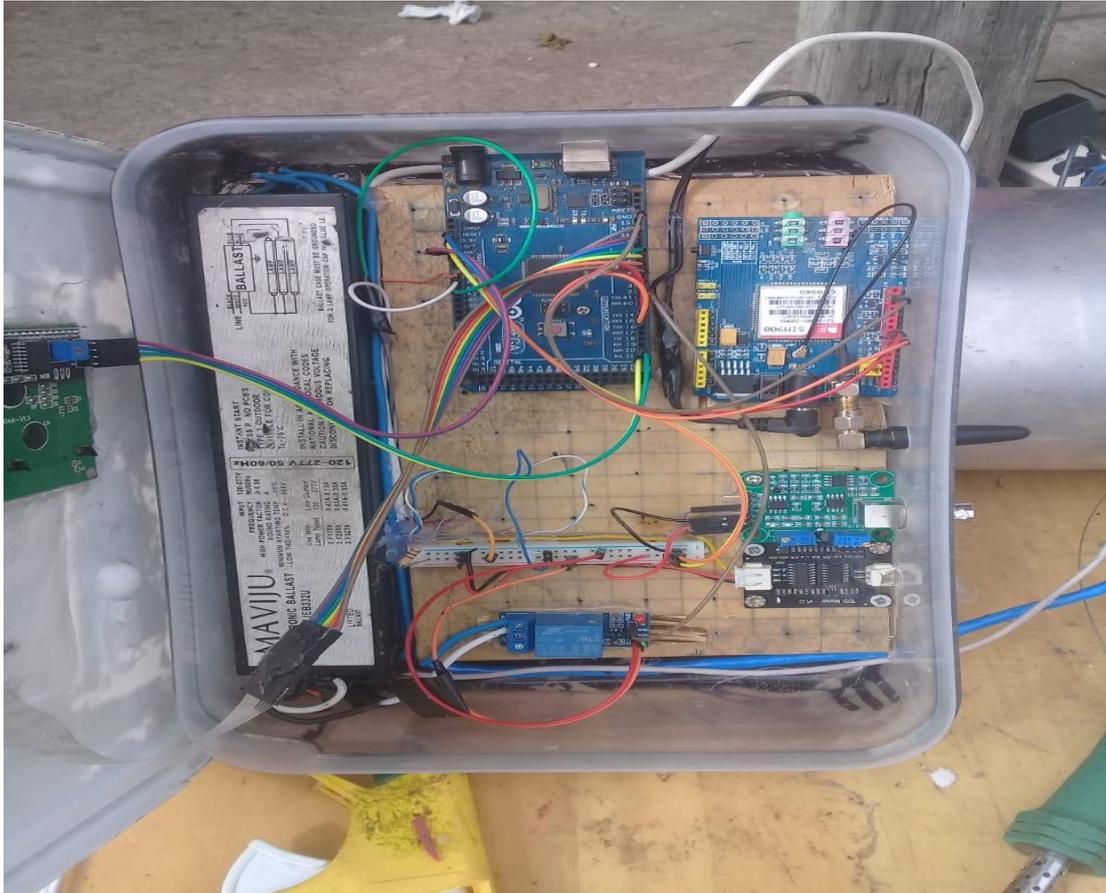
**Fig.B 1** Montaje de sensores de Calidad de Agua [Fuente: Autor].



**Fig.B 2** Colocación del Sensor UV [Fuente: Autor].



**Fig.B 3** Montaje de módulos de comunicación [Fuente: Autor].



**Fig.B 4** Montaje de dispositivos Electrónicos [Fuente: Autor].



**Fig.B 5** Montaje de teclado matricial, LCD [Fuente: Autor].

## **ANEXO C: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.**



**Fig.C 1** Prueba de Funcionamiento del Reactor [Fuente: Autor].



**Fig.C 2** Prueba de funcionamiento de la Lámpara UV [Fuente: Autor].



**Fig.C 3** Prueba de encendido de la lámpara UV dentro del reactor [Fuente: Autor].

## **ANEXOS D: PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA 2560**

```

#define PIN_GUVAS12SD A0 // Pin al que se conecta el módulo con el UVM30A
#define ESPERA_ENTRE_LECTURAS 100 // Leer cada 100 ms
#define ESPERA_ENTRE_PRESENTACIONES 300 // Mostrar el índice cada 30 s
#define CANTIDAD_INDICES_UV 11

unsigned int lectura_sensor;
unsigned int contador_lecturas=1;
int total_lecturas=0.0;
int media_lecturas;
int valor_indice_uv[CANTIDAD_INDICES_UV]={210,295,378,467,563,646,738,818,907,1003,1022}; // De 1 a 11
byte indice;
boolean buscando_indice_uv;
long cronometro_lecturas;
long cronometro_presentaciones;
long tiempo_transcurrido;

```

**Fig. D 1** Declaración de variables del sensor UV [Fuente: Autor].

```

namespace pin {
  const byte tds_sensor = A1;
}
namespace device {
  float aref = 5.0;
}
namespace sensor {
  float ec = 0;
  unsigned int tds = 0;
  int waterTemp = 25;
  float ecCalibration = 1;
}
float tur = 0;

```

**Fig. D 2** Declaración de variables del sensor turbidez y conductividad [fuente: Autor].

```

float tur = 0;

    const int analogInPin = A2;
float calibration_value = 21.34;
int phval = 0;
unsigned long int avgval;
int buffer_arr[10], temp;
float ph_act;

int lampara;
const byte rowCount = 4;
const byte columnsCount = 4;

```

**Fig. D 3** Declaración de variables del sensor pH [Fuente: Autor].

```

void readTdsQuick() {
    float rawEc = analogRead(pin::tds_sensor) * device::aref / 1024.0; // read the analog value more stable by the median filtering algorithm, and convert to voltage value
    float temperatureCoefficient = 1.0 + 0.02 * (sensor::waterTemp - 25.0); // temperature compensation formula: fFinalResult(25°C) = fFinalResult(current)/(1.0+0.02*(ETP-25.0));
    sensor::ec = (rawEc / temperatureCoefficient) * sensor::ecCalibration; // temperature and calibration compensation
    //sensor::tds = ((133.42 * pow(sensor::ec, 3) - 255.66 * sensor::ec + sensor::ec + 857.39 * sensor::ec) * 0.5);
    sensor::tds = (0.5*1000)*sensor::ec;
    tur = (sensor::tds)*(0.0075); //convert voltage value to tds value
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("TDS EC Temp Tur");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print(sensor::tds);
    lcd.setCursor(5,2);
    lcd.print(sensor::ec, 2);
    lcd.setCursor(15,2);
    lcd.print(tur);
    lcd.setCursor(11,2);
    lcd.print(String(sensor::waterTemp));
    Serial.println(String(sensor::tds));
    Serial.print(" ");
    Serial.println(String(sensor::ec));
    Serial.println(" ");
    Serial.println(String(sensor::waterTemp));
}

```

**Fig. D 4** Programación del sensor turbidez y conductividad [Fuente: Autor].

```

void reactoruv(){
    tiempo_transcurrido=millis()-cronometro_lecturas;
    if(tiempo_transcurrido>ESPERA_ENTRE_LECTURAS)
    {
        cronometro_lecturas=millis();
        lectura_sensor=analogRead(PIN_GUVAS12SD);
        total_lecturas+=lectura_sensor;
        media_lecturas=total_lecturas/contador_lecturas++;
    }
    tiempo_transcurrido=millis()-cronometro_presentaciones;
    if(tiempo_transcurrido>ESPERA_ENTRE_PRESENTACIONES)
    {
        cronometro_presentaciones=millis();
        buscando_indice_uv=true;
        indice=CANTIDAD_INDICES_UV;
        while(buscando_indice_uv&&indice>0)
        {
            indice--;
            if(media_lecturas>valor_indice_uv[indice])
            {
                buscando_indice_uv=false;
            }
        }
        Serial.println(String(media_lecturas,DEC));
        Serial.println(" (media de "+String(contador_lecturas,DEC)+" )");
        Serial.println(String(indice,DEC));
        lcd.setCursor(0,3);
    }
}

```

**Fig. D 5** Programación del sensor UV [Fuente: Autor].

```

void ph(){
for (int i = 0; i < 10; i++)
{
  buffer_arr[i] = analogRead(analogInPin);
  delay(30);
}
for (int i = 0; i < 9; i++)
{
  for (int j = i + 1; j < 10; j++)
  {
    if (buffer_arr[i] > buffer_arr[j])
    {
      temp = buffer_arr[i];
      buffer_arr[i] = buffer_arr[j];
      buffer_arr[j] = temp;
    }
  }
}
avgval = 0;
for (int i = 2; i < 8; i++)
  avgval += buffer_arr[i];
float volt = (float)avgval * 5.0 / 1024 / 6;
ph_act = -5.70 * volt + calibration_value;
lcd.setCursor(10, 3);
lcd.print("pH :");
lcd.setCursor(13, 3);
lcd.print(ph_act);
delay(1000);
}

```

**Fig. D 6** Programación del sensor pH [Fuente: Autor].

```

void teclado(){
  key = keypad.getKey();
  if (key) {
    if (key == '3'){
      digitalWrite(lam, HIGH);
    }
    if (key == 'A'){
      digitalWrite(lam, LOW);
    }
  }
  Serial.println(key);
}

```

**Fig. D 7** Activación y desactivación del prototipo [Fuente: autor].

```

if (sensor::tds > 500 || ph_act < 6.5 ){

Serial3.println("AT+CMGF=1\r");//ENVÍA DATOS A TRAVÉS DE una CONEXIÓN TCP O UDP
mostrarDatosSeriales();
delay(200);

Serial3.println("AT+CMGS=\"+593993738886\"");//ENVÍA DATOS A TRAVÉS DE una CONEXIÓN TCP O UDP
mostrarDatosSeriales();
delay(200);
Serial3.println("El agua no es apta para el consumo");
mostrarDatosSeriales();
delay(200);
Serial3.println((char)26);
delay(200);
Serial3.println();
}

```

**Fig. D 8** programación de envío de aletas SMS [Fuente: Autor].

```

Serial3.println("ATH");
mostrarDatosSeriales();
delay(200);

Serial3.println("AT+CIPSTATUS");
mostrarDatosSeriales();
delay(200);

Serial3.println("AT+CIPMUX=0");
mostrarDatosSeriales();
delay(200);

Serial3.println("AT+CSTT=\"internet.claro.com.ec\",\"wap\",\"wap\"");
mostrarDatosSeriales();
delay(1000);

Serial3.println("AT+CIICR");//REALIZAR UNA CONEXIÓN INALÁMBRICA CON GPRS O CSD
mostrarDatosSeriales();
delay(3000);

Serial3.println("AT+CIFSR");// Obtenemos nuestra IP local
mostrarDatosSeriales();
delay(200);

Serial3.println("AT+CIPSPRT=0");//Establece un indicador '>' al enviar datos
mostrarDatosSeriales();
delay(300);

```

**Fig. D 9** Establece conexión GPRS par envío de datos [Fuente: Autor].

```

Serial3.println("AT+CIPSTART="TCPV","\www.dweet.io","\80"); //Indicamos el tipo de conexión, url o dirección IP y puerto al que realizamos la conexión
mostrarDatosSeriales();
delay(3000);

Serial3.println("AT+CIPSEND"); //ENVÍA DATOS A TRAVÉS DE una CONEXIÓN TCP O UDP
mostrarDatosSeriales();
delay(3000);

//String datos = "POST https://dweet.io/dweet/for/Al1Al1="+Elemento3+"&A2="+Elemento4+" HTTP/1.1\r\n";
String datos = "POST https://dweet.io/dweet/for/Al1Al1=" + String(media_lecturas,DEC) + "&A2=" + String(sensor::rds) + "&A3=" + String(ph_act) + "&A4=" + String(tur) + "&A5=" + String(
Serial3.println(datos);
delay(2000);
mostrarDatosSeriales();
Serial3.println((char)26);
delay(2000); //Ahora esperamos una respuesta pero esto va a depender de las condiciones de la red y este valor quizá debamos modificarlo dependiendo de las condiciones de la red
Serial3.println();
mostrarDatosSeriales();
delay(2000);
//////////////////////////////////////
Serial3.println("AT+CIPSHUT"); //Cierra la conexión(Desactiva el contexto GPRS PDP)
mostrarDatosSeriales();

```

**Fig. D 10** Establece la conexión con el servidor web [Fuente: Autor].

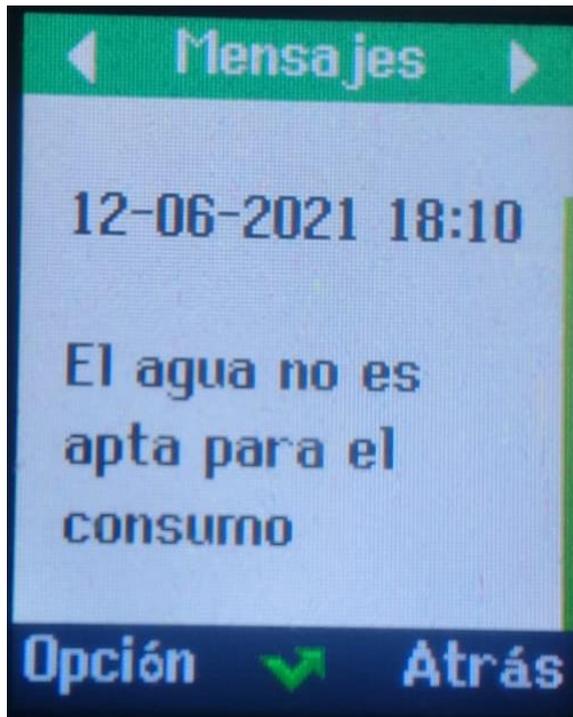
## ANEXOS E: PRUEBAS DEL MONITOREO Y ALERTA DEL PROTOTIPO



**Fig.E 1** Prueba de Monitoreo Mediante el LCD [Fuente: Autor].



**Fig.E 2** Pruebas de Monitoreo remoto mediante la aplicación Web [Fuente: Autor].



**Fig.E 3** Pruebas de alerta de mensajes SMS [Fuente: Autor].

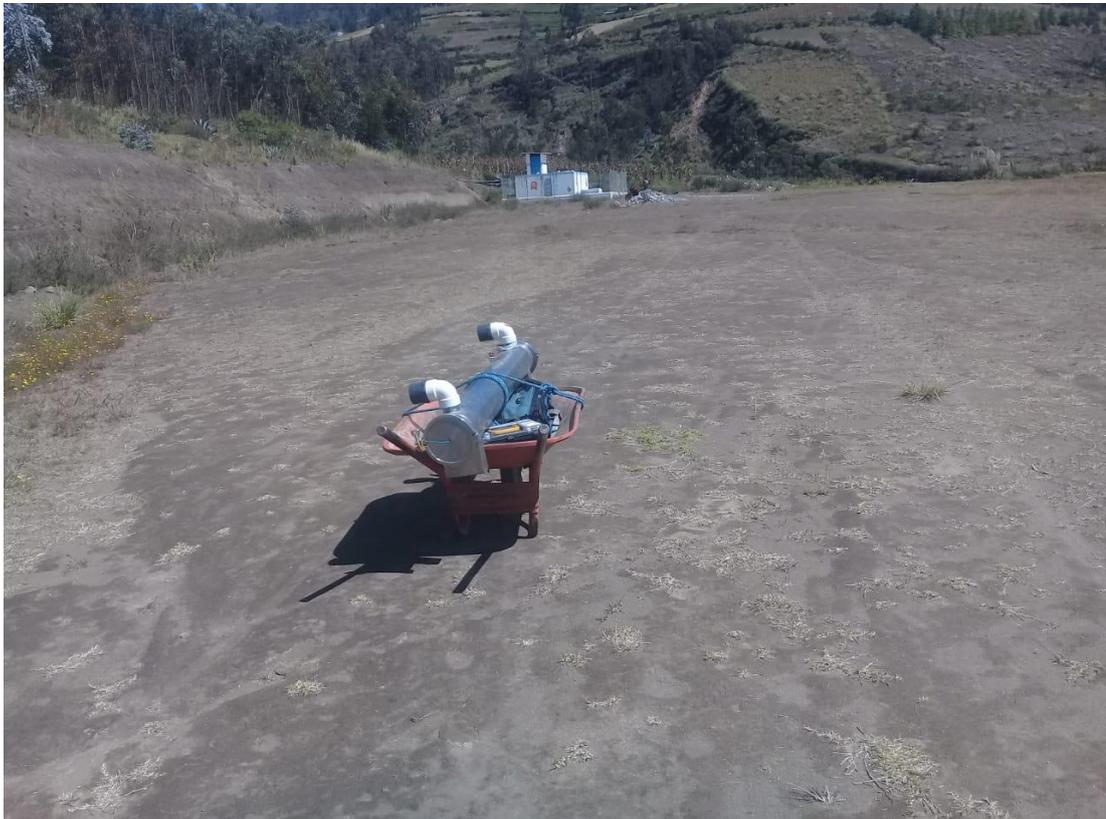
#### **ANEXOS F: LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO**



**Fig.F 1** Reservorio secundario ingreso de agua de todas las vertientes [Fuente: Autor].



**Fig.F 2** Reservorio primario donde se implementa el prototipo [Fuente: Autor].



**Fig.F 3**Traslado del equipo al destino de implementación [Fuente: Autor].



**Fig.F 4** Adecuación del lugar de implementación [Fuente: Autor].



**Fig.F 5** Implementación del panel del control [Fuente: Autor].



Fig.F 6 Implementación del prototipo [Fuente: Autor].



Fig.F 7 Funcionamiento del prototipo implementado [Fuente: Autor].

**ANEXO G: PRUEBAS DE ANALISIS MICROBIOLOGIA DEL AGUA.**



**Fig. G 1** Muestra de agua esterilizada mediante el prototipo [Fuente: Autor].

**IDENTIFICACIÓN:** MA - 062-21 Agua de vertiente purificada Agua

**El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.**

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA - 062-21

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Coliformes totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	< 1 (Ausencia)	N/A	22 - 06 -21
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 1 (Ausencia)	N/A	22 - 06 -21
* Aerobios Mesófilos	UFC/ml	ISO 4833	91	N/A	22 - 06 -21

**Fig. G 2** Resultado de análisis microbiológica del agua potabilizada mediante el prototipo [Fuente: Autor].



## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con certificado No. SAE LEN 17-012

N° SE: 043-21

### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Milton Guairacaja

**INFORME N°** 043- 21

**EMPRESA:** Proyecto de Tesis Universidad Politécnica Salesiana

**N° SE:** 043-21

**DIRECCIÓN:** Parroquia Punín

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 22- 06 -21

**TELÉFONO:** 0987168306

**FECHA DE INFORME:** 28 - 06- 21

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua de vertiente, Junta de Administración de Agua de Consumo Doméstico y Saneamiento Ambiental de la parroquia Punín

**TIPO DE MUESTRA:**

**IDENTIFICACIÓN:** MA - 062-21

Agua de vertiente purificada

Agua

**El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.**

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 062-21

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Coliformes totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	< 1 (Ausencia)	N/A	22 - 06 -21
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 1 (Ausencia)	N/A	22 - 06 -21
* Aerobios Mesófilos	UFC/ml	ISO 4833	91	N/A	22 - 06 -21



# LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con certificado No. SAE LEN 17-012



Nº SE: 043-21

## INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Milton Guairacaja **INFORME Nº** 043- 21  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis Universidad Politécnica Salesiana **Nº SE:** 043-21  
**DIRECCIÓN:** Parroquia Punín  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 22- 06 -21  
**TELÉFONO:** 0987168306 **FECHA DE INFORME:** 28 - 06- 21  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua de vertiente, Junta de Administración de Agua de Consumo Doméstico y Saneamiento Ambiental de la parroquia Punín  
**TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 062-21 Agua de vertiente purificada Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 062-21

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U/K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Coliformes totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 - C	< 1 (Ausencia)	N/A	22-06-21
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	< 1 (Ausencia)	N/A	22-06-21
* Aerobios Mesófilos	UFC/ml	ISO 4833	91	N/A	22-06-21

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Pobres y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.

REGLA DE DECISIÓN ACORDADA: No aplica

### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
 Dr. Juan Carlos Lara R.  
 TECNICO L.S.A.



- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.
- LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados

Página 1 del

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Roca Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo.