



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES**  
**Y REDES**

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE RED WSN PARA EL  
MONITOREO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE CO<sub>2</sub>  
EXISTENTE EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: PROPUESTA TECNOLÓGICA**  
**Para optar al Grado Académico de:**  
**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

**AUTORA: YESSENIA ALEXANDRA GUSQUI BEJARANO**

**TUTOR: ING. MARCO VINICIO RAMOS VALENCIA MSc.**

Riobamba – Ecuador

2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: La propuesta tecnológica: “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE RED WSN PARA EL MONITOREO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE CO<sub>2</sub> EXISTENTE EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, de responsabilidad de la señorita Yessenia Alexandra Gusqui Bejarano, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Washington Luna

**DECANO DE LA FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

\_\_\_\_\_

Ing. Franklin Moreno

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN  
TELECOMUNICACIONES Y REDES**

\_\_\_\_\_

Ing. Vinicio Ramos MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

Ing. Wilson Baldeón MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Yo, Yessenia Alexandra Gusqui Bejarano soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Yessenia Alexandra Gusqui Bejarano

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser el motor principal de mi vida quien ha guiado e iluminado mi camino y cada día derrama sus bendiciones, así como también me regala salud, sabiduría y la fortaleza necesaria para cumplir mis objetivos planteados; éste ha sido un proceso arduo y de constancia, pero de la mano de él todo ha sido posible.

A mis queridos padres, María Camila y Luis Gonzalo, quienes son mi principal soporte y a pesar de las adversidades que nos ha tocado vivir, me han enseñado que la vida es una constante lucha en donde es necesario crear tu propia burbuja para salir ileso; ustedes siempre serán el apoyo incondicional de mi vida.

A mi adorada hermana, Caterine Elizabeth, quien en muchas de las ocasiones le ha tocado asumir el rol de madre; hermana como siempre te lo he dicho eres mi modelo, mi salvadora y el complemento perfecto en mi vida; este sueño cumplido también lo es tuyo porque en los momentos difíciles encontrabas las palabras perfectas para alentarme a seguir adelante.

A todos mis amigos, quienes saben que los considero como mi familia; ustedes se han convertido en un soporte extra en mi vida y me han enseñado a afrontar los momentos difíciles con otra perspectiva, quiero que sepan que en mi corazón guardo con gran cariño todos los lindos momentos compartidos de mi etapa estudiantil.

Yessenia

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de cumplir el sueño tan anhelado de convertirme en una profesional con valores éticos y morales para que el día de mañana cuente con las herramientas necesarias para desempeñarme de la mejor manera en mi vida profesional.

A mis maestros, por tener ese don tan maravilloso de enseñar y llegar a cada uno de los estudiantes y así formar profesionales competitivos; de manera especial mi más profundo agradecimiento al Ing. Vinicio Ramos y al Ing. Wilson Baldeón, quienes han sido un gran soporte durante todo este proceso.

Al Lic. Geovanny Bonifaz B. Mgs., Director de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene y al Ing. Alfredo Colcha, Director de Gestión de Tecnologías de la Información del GAD Municipal de Riobamba, quienes me brindaron su apoyo incondicional en la ejecución de mi Trabajo de Titulación.

Yessenia

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Redes Inalámbricas .....</b>	<b>5</b>
<i>1.1.1 Redes inalámbricas según su alcance .....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Ventajas .....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3 Inconvenientes .....</i>	<i>7</i>
<b>1.2 Redes Inalámbricas de Sensores (WSN).....</b>	<b>7</b>
<i>1.2.1 Características.....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.2 Arquitectura de Red WSN .....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3 Topologías de Red WSN.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.4 Aplicaciones WSN .....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.5 Tecnologías de comunicación inalámbrica .....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.5.1 Zigbee.....</i>	<i>10</i>
<i>1.2.5.2 Wi - Fi .....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.5.3 WiMAX.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.5.4 Análisis comparativo de Tecnologías .....</i>	<i>11</i>

<b>1.2.6</b>	<b><i>Plataformas para redes inalámbricas</i></b> .....	<b>13</b>
1.2.6.1	<i>Arduino</i> .....	13
1.2.6.2	<i>NodeMCU</i> .....	13
1.2.6.3	<i>Raspberry Pi</i> .....	14
1.2.6.4	<i>Análisis comparativo de Plataformas</i> .....	15
<b>1.2.7</b>	<b><i>Sensores</i></b> .....	<b>16</b>
1.2.7.1	<i>Sensor de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</i> .....	16
1.2.7.2	<i>Análisis comparativo de Sensores de Dióxido de Carbono</i> .....	18
<b>1.2.8</b>	<b><i>Fuentes de alimentación</i></b> .....	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Base de Datos</b> .....	<b>20</b>
<b>1.4</b>	<b>Contaminación del aire</b> .....	<b>21</b>
1.4.1	<i>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</i> .....	21
1.4.2	<i>Efectos en la salud de las personas</i> .....	22
1.4.3	<i>Contaminación del aire en Riobamba</i> .....	23
1.4.3.1	<i>Calidad del aire en Riobamba</i> .....	23
1.4.3.2	<i>Contaminación producida por el parque automotriz</i> .....	24
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>2</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>25</b>
2.1	<b>Diseño metodológico</b> .....	<b>25</b>
2.2	<b>Requerimientos de la Red de Sensores Inalámbricos</b> .....	<b>26</b>
2.2.1	<i>Hardware</i> .....	26
2.2.2	<i>Software</i> .....	26
2.3	<b>Diseño de la Red de Sensores Inalámbricos</b> .....	<b>26</b>
2.3.1	<i>Mecanismos de la Red WSN</i> .....	27
2.3.1.1	<i>Mecanismo de detección</i> .....	27
2.3.1.2	<i>Mecanismo de control</i> .....	35

2.3.2	<b>Esquema de conexión de los mecanismos de la red WSN</b>	<b>38</b>
2.3.2.1	<i>Mecanismo de detección</i>	38
2.3.2.2	<i>Mecanismo de control</i>	39
2.3.3	<b>Herramientas software</b>	<b>40</b>
2.3.3.1	<i>Software Arduino IDE</i>	40
2.3.3.2	<i>Sistema Operativo Raspbian</i>	41
2.3.3.3	<i>Servidor web Apache</i>	41
2.4	<b>Software de medición de dióxido de carbono</b>	<b>42</b>
2.4.1	<i>Librerías</i>	44
<b>CAPÍTULO III</b>		
3	<b>MARCO DE PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	<b>46</b>
3.1	<b>Pruebas de funcionamiento del prototipo</b>	<b>46</b>
3.1.1	<b>Ambiente A</b>	<b>50</b>
3.1.1.1	<i>Ubicación geográfica de la Red WSN</i>	50
3.1.1.2	<i>Instalación de los mecanismos de la red WSN</i>	51
3.1.1.3	<i>Pruebas de conexión de la red WSN</i>	53
3.1.1.4	<i>Análisis de gráficas</i>	53
3.1.2	<b>Ambiente B</b>	<b>55</b>
3.1.2.1	<i>Ubicación geográfica de la Red WSN</i>	56
3.1.2.2	<i>Instalación de los mecanismos de la Red WSN</i>	56
3.1.2.3	<i>Pruebas de conexión de la red WSN</i>	58
3.1.2.4	<i>Análisis de gráficas</i>	58
3.2	<b>Histórico de la red WSN</b>	<b>63</b>
3.3	<b>Repetitividad en los datos del prototipo de red WSN</b>	<b>65</b>
3.4	<b>Estabilidad del prototipo de red WSN</b>	<b>65</b>
3.4.1	<i>Estabilidad considerando la altura de ubicación de los nodos</i>	66
3.5	<b>Análisis financiero del prototipo de red WSN</b>	<b>67</b>

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>TICs</b>	Tecnologías de la Información y Comunicación
<b>WSN</b>	Wireless Sensor Network
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>MAE</b>	Ministerio del Ambiente – Ecuador
<b>t a<sup>-1</sup></b>	Toneladas
<b>Kt a<sup>-1</sup></b>	Kilotoneladas
<b>WPAN</b>	Wireless Personal Area Network
<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network
<b>WiFi</b>	Wireless Fidelity
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
<b>WMAN</b>	Wireless Metropolitan Area Network
<b>WiMax</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access
<b>WWAN</b>	Wireless Wide Area Network
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>2G</b>	Segunda Generación de Telefonía
<b>3G</b>	Tercera Generación de Telefonía
<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant
<b>ISM</b>	Industrial, Scientific and Medical
<b>xDSL</b>	X Digital Subscriber Line
<b>QoS</b>	Calidad de servicio

<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>m</b>	Metros
<b>Km</b>	Kilómetros
<b>APL</b>	Arduino Programming Language
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>mm</b>	Milímetros
<b>Kb</b>	Kilobytes
<b>Mb</b>	Megabytes
<b>Gb</b>	Gigabytes
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoniac
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxido de nitrógeno
<b>V</b>	Voltaje
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>DC</b>	Corriente continua
<b>mA</b>	Miliamperios
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>SQL</b>	Structured Query Language
<b>pH</b>	Potencial hidrógeno
<b>OMM</b>	Organización Meteorológica Mundial
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>EPOC</b>	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
<b>GPL</b>	General Public License
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global

<b>dBm</b>	Decibelio-milivatio
<b>mAh</b>	Miliamperio hora
<b>AP</b>	Access Point
<b>Arduino IDE</b>	Arduino Integrated Development Environment
<b>HTTP</b>	Protocolo de transferencia de hipertexto
<b>GADM Riobamba</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Comparación de tecnologías de comunicación inalámbrica.....	12
<b>Tabla 2-1:</b> Escala de valoración .....	12
<b>Tabla 3-1:</b> Ponderación de eficiencia de las tecnologías de comunicación inalámbrica.....	13
<b>Tabla 4-1:</b> Comparación de Plataformas para redes inalámbricas .....	15
<b>Tabla 5-1:</b> Ponderación de eficiencia de las plataformas para redes inalámbricas .....	15
<b>Tabla 6-1:</b> Comparación de los Sensores de Dióxido de Carbono.....	18
<b>Tabla 7-1:</b> Ponderación de eficiencia de los Sensores de Dióxido de Carbono .....	19
<b>Tabla 8-1:</b> Lugares y niveles de concentración de CO <sub>2</sub> permitidos .....	23
<b>Tabla 9-1:</b> Niveles de riesgo de fuentes contaminantes en la ciudad de Riobamba.....	23
<b>Tabla 1-2:</b> Consumo de los dispositivos que integran el mecanismo de detección .....	34
<b>Tabla 2-2:</b> Consumo de los dispositivos que integran el mecanismo de control .....	35
<b>Tabla 3-2:</b> Conexión de los dispositivos del mecanismo de detección.....	38
<b>Tabla 1-3:</b> Error absoluto a 50cm de altura.....	48
<b>Tabla 2-3:</b> Error absoluto a 150cm de altura.....	49
<b>Tabla 3-3:</b> Error absoluto a 200cm de altura.....	50
<b>Tabla 4-3:</b> Histórico de la base de datos .....	64
<b>Tabla 5-3:</b> Repetitividad de datos .....	65
<b>Tabla 6-3:</b> Diferencia de variación entre dos distribuciones diferentes .....	66
<b>Tabla 7-3:</b> Diferencia de variación de los datos recogidos por los Sensores 1 y 2 .....	66
<b>Tabla 8-3:</b> Lista de dispositivos y precios.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Comunicación inalámbrica .....	5
<b>Figura 2-1:</b> Tipos de redes inalámbricas .....	6
<b>Figura 3-1:</b> Arquitectura de Red WSN .....	8
<b>Figura 4-1:</b> Topologías de red WSN.....	10
<b>Figura 5-1:</b> Placa Arduino.....	13
<b>Figura 6-1:</b> Placa NodeMCU .....	14
<b>Figura 7-1:</b> Placa Raspberry Pi .....	14
<b>Figura 8-1:</b> Módulo sensor MQ135 .....	16
<b>Figura 9-1:</b> Sensor TGS 4161 .....	17
<b>Figura 10-1:</b> Módulo sensor MG811 .....	17
<b>Figura 11-1:</b> Batería de Litio .....	20
<b>Figura 12-1:</b> Base de Datos.....	20
<b>Figura 1-2:</b> Diseño de la Red de sensores inalámbricos .....	26
<b>Figura 2-2:</b> Bloques del mecanismo de detección .....	27
<b>Figura 3-2:</b> NodeMCU v3.....	28
<b>Figura 4-2:</b> Módulo sensor MG811 .....	29
<b>Figura 5-2:</b> Puntos de referencia para calibración del sensor .....	29
<b>Figura 6-2:</b> Módulo GPS UBlox NEO 6M .....	31
<b>Figura 7-2:</b> Batería seca NP1.3 - 6.....	32
<b>Figura 8-2:</b> Elevador de tensión SX1308.....	33
<b>Figura 9-2:</b> Batería polímero ion litio 3.7V – 1000mAh .....	34
<b>Figura 10-2:</b> Bloques del mecanismo de control .....	36
<b>Figura 11-2:</b> Raspberry Pi 3 Model B.....	37
<b>Figura 12-2:</b> Interfaz del reporte gráfico.....	38
<b>Figura 13-2:</b> Conexión del mecanismo de detección.....	39
<b>Figura 14-2:</b> Conexión del mecanismo de control.....	40
<b>Figura 15-2:</b> IDE Arduino.....	41
<b>Figura 16-2:</b> Escritorio Raspbian.....	41
<b>Figura 17-2:</b> Servidor http Apache .....	42
<b>Figura 18-2:</b> Diagrama de Flujo del mecanismo de detección.....	43
<b>Figura 19-2:</b> Diagrama de Flujo del mecanismo de control .....	44

<b>Figura 1-3:</b> Bomba de agua a gasolina.....	46
<b>Figura 2-3:</b> Ubicación del nodo sensor a 50cm .....	48
<b>Figura 3-3:</b> Ubicación de los nodos sensores a 150 y 200cm .....	49
<b>Figura 4-3:</b> Ubicación geográfica del Ambiente A con Google maps .....	51
<b>Figura 5-3:</b> Instalación del mecanismo de detección del Ambiente A .....	52
<b>Figura 6-3:</b> Instalación del mecanismo de control del Ambiente A .....	52
<b>Figura 7-3:</b> Pruebas de conexión de la red WSN del Ambiente A .....	53
<b>Figura 8-3:</b> Ubicación geográfica del Ambiente B con Google maps .....	56
<b>Figura 9-3:</b> Instalación del mecanismo de detección del Ambiente B.....	57
<b>Figura 10-3:</b> Instalación del mecanismo de control del Ambiente B.....	57
<b>Figura 11-3:</b> Pruebas de conexión de la red WSN del Ambiente B.....	58

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b> Valores promedio mundial medidos por la NOAA .....	22
<b>Gráfico 1-3:</b> Monitorización – Viernes, agosto 18 del 2017.....	54
<b>Gráfico 2-3:</b> Monitorización – Sábado, agosto 19 del 2017 .....	54
<b>Gráfico 3-3:</b> Monitorización – Domingo, agosto 20 del 2017 .....	55
<b>Gráfico 4-3:</b> Monitorización – Viernes, agosto 25 del 2017 (08-10PM).....	59
<b>Gráfico 5-3:</b> Monitorización – Viernes, agosto 25 del 2017 (12-14PM).....	59
<b>Gráfico 6-3:</b> Monitorización – Viernes, agosto 25 del 2017 (17-19PM).....	60
<b>Gráfico 7-3:</b> Monitorización – Sábado, agosto 26 del 2017 (08-10AM).....	60
<b>Gráfico 8-3:</b> Monitorización – Sábado, agosto 26 del 2017 (12-14PM).....	61
<b>Gráfico 9-3:</b> Monitorización – Sábado, agosto 26 del 2017 (17-19PM).....	61
<b>Gráfico 10-3:</b> Monitorización – Domingo, agosto 27 del 2017 (08-10AM).....	62
<b>Gráfico 11-3:</b> Monitorización – Domingo, agosto 27 del 2017 (12-14PM) .....	62
<b>Gráfico 12-3:</b> Monitorización – Domingo, agosto 27 del 2017 (17-19PM) .....	63

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo A:** Hoja de especificaciones técnicas del sensor MG811

**Anexo B:** Configuración del bloque de procesamiento del mecanismo de detección

**Anexo C:** Configuración del bloque de procesamiento del mecanismo de control

**Anexo D:** Configuración en php de las páginas de subida de datos al servidor web

**Anexo E:** Configuración en php de la página de visualización del reporte gráfico

**Anexo F:** Datos históricos registrados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

## **RESUMEN**

En la presente investigación se diseñó un prototipo de red WSN para el monitoreo del nivel de contaminación de CO<sub>2</sub> existente en el centro de la ciudad de Riobamba. Se realizó un análisis comparativo de tecnologías inalámbricas y según el análisis de eficiencia conseguido, se determinó que Wi-Fi es la tecnología inalámbrica más adecuada para el diseño de la red. El prototipo de la red WSN está integrado por un mecanismo de detección conformado por dos nodos sensores que incluyen una placa electrónica NodeMCU, un módulo sensor MG811 y un gps UBlox NEO 6M; un mecanismo de control compuesto por una placa electrónica NodeMCU y una placa Raspberry en donde se implementó un servidor web, cada mecanismo cuenta con baterías y elevadores de voltaje que proveen la energía necesaria para el normal funcionamiento de los dispositivos. La precisión del prototipo se determinó al realizar los cálculos del error absoluto con datos recogidos de mediciones experimentales, en donde se demostró que el nivel de confiabilidad del prototipo es del 95% a una altura máxima de 2 metros con una variación de datos del 3%, lo que lo hace estable y preciso. Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento del prototipo y validación del mismo, se concluye que el prototipo implementado cumple con los requerimientos necesarios para que la red sea segura, portable, de fácil configuración y sobre todo es escalable por lo que permite la inserción de nodos sin complicación alguna luego de que la red ya ha sido implementada. Se recomienda para trabajos futuros, desarrollar un sistema de monitorización que detecte al mismo tiempo los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en diferentes ambientes.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <REDES DE COMPUTADORES>, <MEDIO AMBIENTE>, <RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)>, <CONTAMINACIÓN DEL AIRE>, <DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)>.

## **ABSTRACT**

In the current research work, a prototype of WSN network was designed for monitoring the level of CO<sub>2</sub> pollution at Riobamba's city center. A comparative analysis of wireless technologies was performed and, according to the analysis of efficiency obtained, it was determined that Wi-Fi is the most adequate wireless technology for the design of the network. The prototype of WSN network is integrated by a detection mechanism made up by two sensor nodes which include a NodeMCU electronic board, a MG811 sensor module and a UBlox NEO 6M gps; a controlling mechanism made up by a NodeMCU electronic board and a Raspberry plaque where a web server was implemented, each mechanism included batteries and voltage elevators which provide the necessary energy for the adequate performance of the devices. The prototype precision was determined when developing the calculations of the absolute error with data gathered from experimental measurements, where the level of reliability of the prototype was demonstrated with 95% at a maximum height of 2 meters with a data variation of 3%, which makes it stable and precise. Once developed the prototype functioning tests as well as its validation, it is concluded that the implemented prototype reaches all the necessary requirements for the net to be safe, portable, easy to set up and scalable, so it permits the insertion of nodes without any complication once the net had been implemented. It is recommended for future works, to develop a monitoring system to detect at the same time the levels of CO<sub>2</sub> concentration in different environments.

**KEY WORDS:** < TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <COMPUTER NETWORKS>, < ENVIRONMENT>, <WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)>, < AIR POLLUTION>, <CARBONE DIOXIDE (CO<sub>2</sub>)>.

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de las TICs se ha convertido en una herramienta de apoyo en la vida de las personas, por tanto, permite aportar positivamente en diferentes áreas en donde es factible la automatización de procesos logrando así mejorar la calidad de vida de las personas y permitiendo solucionar problemas de interés común.

Con el paso del tiempo la tecnología avanza a pasos agigantados, obligándonos a cambiar todo e incluso las actividades que realizamos a diario, a esto se une también los grandes avances que se han evidenciado en el área de las comunicaciones inalámbricas, en donde las redes de sensores inalámbricos cada vez obtienen un mayor auge en diversas aplicaciones.

Las redes de sensores inalámbricos contribuyen en áreas militares, ambientales, de la salud, industriales, entre otras; debido al gran aporte que realizan las redes WSN y sumado los avances tecnológicos existentes, la implementación de prototipos en áreas ambientales representan una estrategia clave para contribuir con el medio ambiente y el aire que respiramos.

La implementación de una red de sensores que determine las variaciones de los niveles de contaminación de CO<sub>2</sub> constituye un gran aporte principalmente en la salud de las personas, que es una prioridad a la cual se le debe poner una especial atención y gracias a los avances tecnológicos y el desarrollo de proyectos de este tipo es posible hacerlo

## **ANTECEDENTES**

Según la OMS, la contaminación atmosférica representa un importante riesgo medioambiental que influyen en la salud de los seres vivos que habitan el planeta, afectando de esta manera en la calidad de vida de los mismos; el problema de contaminación cada vez ha ido en aumento debido a la aparición de nuevas fuentes contaminantes que obedecen a causas tanto naturales como al factor antropogénico; los efectos producidos por el factor antropogénico son mayores en comparación a los naturales, ya que la aparición de nuevas fábricas y el incremento de los vehículos principalmente elevan el nivel de contaminación atmosférica por emisión de gases de CO<sub>2</sub>.

En el Ecuador el problema de contaminación ambiental se ha incrementado considerablemente en los últimos años; según datos registrados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) existen varias ciudades en el país que exceden los valores admisibles de contaminación ambiental por CO<sub>2</sub>, situación que causa preocupación en las autoridades y los habitantes en general, además la OMS estima que más del 80% de las personas que viven en zonas urbanas respiran un aire que

podría ser la causa de enfermedades respiratorias crónicas e incluso de infartos cerebrales, esto debido al aumento del parque automotriz que se ha evidenciado en cada una de las ciudades del país. (<http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>)

En la ciudad de Riobamba según datos obtenidos del último proyecto de calidad del aire realizado por el Ministerio del Ambiente (MAE), en el año 2010 las emisiones de monóxido de carbono en la ciudad en cuestión ascienden a 11758 t a<sup>-1</sup>, correspondiendo el 99.6% al parque vehicular y las emisiones totales de dióxido de carbono ascienden a 668.4 Kt a<sup>-1</sup>, en donde el 52.4% representa las emisiones generadas por el sector industrial, mientras que el 40.1% corresponde a las emisiones producidas por el parque vehicular. Por otro lado, la contaminación de CO<sub>2</sub> producida por habitante asciende a 2.96 t a<sup>-1</sup> para una población de 225741 habitantes. (Ministerio del Ambiente, 2014)

Actualmente considerando el incremento industrial, vehicular y poblacional, el problema de contaminación de dióxido de carbono se agrava constantemente y con esto se incrementa el efecto del calentamiento global, situación que sería la principal amenaza de daño al planeta en el que habitamos provocando daños irreversibles, por tanto conscientes del problema que implica la contaminación por CO<sub>2</sub>, las autoridades encargadas de la calidad del aire en el país están tomando cartas en el asunto y se encuentran en búsqueda de alternativas de solución que permitan conocer la variación de los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire que respiramos.

Tomando en consideración el problema que vivimos a diario debido a la contaminación por CO<sub>2</sub>, el desarrollo de la tecnología plantea grandes soluciones a la hora de realizar la toma de datos, este es el caso de las Redes de Sensores Inalámbricos que se han convertido en una potente herramienta que contribuye al medio ambiente en la medición de los niveles de contaminación en diferentes áreas, tales como aire, agua, entre otras; las redes de sensores inalámbricos nos ayudan a obtener diariamente información sobre el nivel de contaminación existente, esto se lo realiza a través de nodos sensores que envían información mediante la red inalámbrica hacia una estación base que almacena los datos que servirán de gran ayuda para que las autoridades correspondientes analicen los datos obtenidos y tomen las acciones preventivas de ser el caso.

## **JUSTIFICACIÓN**

### **Justificación Teórica**

La contaminación atmosférica es un problema mundial que actualmente se ha convertido en uno de los principales factores de riesgo de los accidentes cerebrovasculares y de muchas enfermedades respiratorias crónicas de acuerdo con los informes realizados por la OMS, sin embargo, las consecuencias parecen haber sido subestimadas por las personas quienes día a día

utilizan cada vez más fuentes contaminantes que dañan el aire que respiramos, provocando de esta manera daños irreversibles en el planeta y en la vida de los habitantes.

El año pasado en el Ecuador se registraron seis urbes que excedían los niveles de contaminación ambiental, en donde la fuente directa de contaminación son los vehículos, debido a que en nuestro país la calidad del combustible no cumple con los parámetros internacionales para proteger la salud de las personas según los estudios realizados por el Ministerio del Ambiente; el problema de la contaminación se agrava a medida que el tiempo transcurre, ya que el parque vehicular se incrementa cada vez más en todas las ciudades del Ecuador y con esto se elevan los niveles de contaminación atmosférica.

Riobamba es una de las ciudades que no está exenta del problema de contaminación por CO<sub>2</sub> generado por el incremento del parque vehicular. De ahí que la justificación teórica, tiene como base la determinación de los valores de CO<sub>2</sub> existentes en la ciudad de Riobamba, además como se trata del primer proyecto piloto, un prototipo, se realiza solo en el centro de la ciudad, el parque Maldonado.

### **Justificación Aplicativa**

Hasta la actualidad, en Riobamba, no se ha diseñado una red que permita supervisar constantemente los valores de concentración de CO<sub>2</sub>, debido a que en nuestro país, las únicas ciudades que cuentan con una red de monitorización atmosférica en tiempo real son: Quito y Cuenca, por lo que, el presente Trabajo de Titulación pretende determinar las características más adecuadas para realizar el diseño de la red de sensores inalámbricos, que permitan implementar un prototipo de red WSN que mida los niveles de concentración de dióxido de carbono en el centro de la ciudad de Riobamba y los almacene en una base de datos para su posterior visualización mediante un reporte gráfico.

El prototipo de red WSN a implementarse constituye una herramienta útil y de bajo costo que servirá de gran ayuda para que las instituciones gubernamentales cuenten con información diaria de la contaminación de CO<sub>2</sub> existente en el centro de la ciudad de Riobamba, esta información es fundamental ya que al recopilar los datos constantemente, las autoridades locales pueden buscar oportunas soluciones cuando se incrementen los niveles de contaminación, de esta forma se podrá mitigar el impacto que causa la contaminación del aire en la salud de las personas, contribuyendo así en el buen vivir de las y los riobambeños.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar un Prototipo de red WSN para el monitoreo del nivel de contaminación de CO<sub>2</sub> existente en el centro de la ciudad de Riobamba.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar las características y arquitectura de red más acertada para el desarrollo de aplicaciones de monitoreo de datos utilizando redes inalámbricas.
- Realizar una evaluación de la tecnología que mejor se adapte al diseño de la red WSN a implementarse.
- Determinar los elementos necesarios para la implementación del prototipo de red WSN que permita el correcto monitoreo del nivel de CO<sub>2</sub> existente en el lugar especificado.
- Ejecutar las respectivas pruebas de funcionamiento del prototipo de red WSN para la validación del mismo.
- Desarrollar una aplicación que permita visualizar los datos obtenidos del monitoreo de la red WSN.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

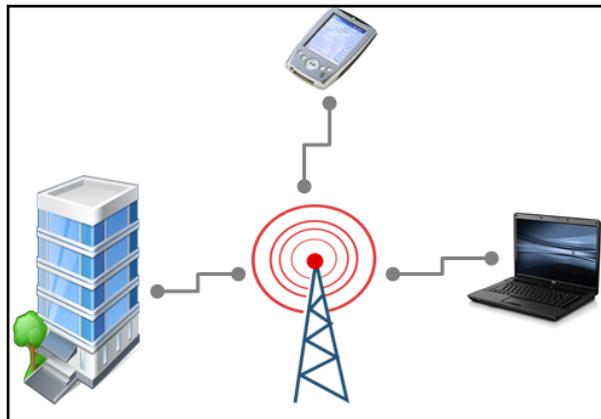
En el presente capítulo se detallan las características más importantes de las redes inalámbricas de sensores, así como también se realiza un análisis comparativo de tecnologías inalámbricas, plataformas y sensores de dióxido de carbono. Por otro lado, también se especifica el problema de contaminación ambiental a nivel mundial y la situación que atraviesa la ciudad de Riobamba.

### 1.1 Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas (Wireless Network) son redes en donde los extremos de la comunicación están enlazados sin la necesidad de una conexión física (cables), es decir se suelen comunicar utilizando medios no guiados para el envío de información; esto es, a través de ondas electromagnéticas.

Este tipo de redes se emplean con mayor frecuencia para realizar conexiones de datos, sin embargo, también son utilizadas para emitir señales de televisión, telefonía, domótica, entre otras. (Andreu, 2010, p. 212)

En la Figura 1-1, se indica la comunicación inalámbrica existente entre el emisor y los diferentes dispositivos finales de una red.



**Figura 1-1:** Comunicación inalámbrica

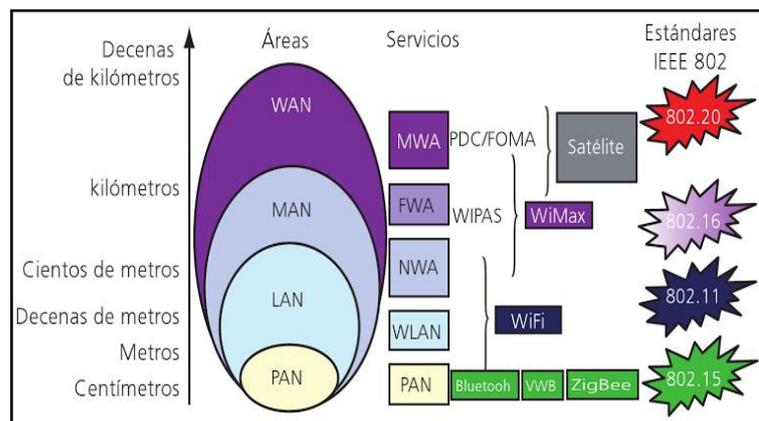
Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

#### 1.1.1 Redes inalámbricas según su alcance

De igual forma que las redes cableadas, las redes inalámbricas se clasifican en varios tipos ya sea por su cobertura o tecnología; esta clasificación se detalla a continuación:

- **WPAN (Wireless Personal Area Network):** Permite interconectar dispositivos que se encuentren a pocos metros del emisor con una velocidad de transmisión inferior a los Mbps; el estándar más conocido en este tipo de redes es Bluetooth.
- **WLAN (Wireless Local Area Network):** Por lo general, esta red se sitúa en áreas domésticas y pequeñas empresas utilizando la tecnología de radiofrecuencia para transmitir información; la tecnología más conocida es Wi-Fi con su estándar IEEE 802.11.
- **WMAN (Wireless Metropolitan Area Network):** Este tipo de red suele implementarse para conectar varios edificios en un mismo rango (ciudad), es decir es capaz de cubrir grandes distancias utilizando una velocidad de transmisión aceptable. La tecnología que más sobresale en las redes WMAN es WiMax.
- **WWAN (Wireless Wide Area Network):** Es una red que puede tener conexión en cualquier parte del planeta, se basa en ciertas tecnologías móviles como GPRS, 2G, 3G, entre otras, cuya velocidad de transmisión puede llegar a cientos de Mbps. (Cabezas y González, 2010: pp. 55-56)

Los tipos de redes inalámbricas según la cobertura o tecnología se indican en la Figura 2-1.



**Figura 2-1:** Tipos de redes inalámbricas

Fuente: (Andreu, 2010, pag. 213)

### 1.1.2 Ventajas

Las redes inalámbricas presentan un gran número de ventajas, lo cual implica que sean consideradas idóneas para utilizarse en diversas aplicaciones que necesiten aspectos como flexibilidad y accesibilidad. Las ventajas que más sobresalen son las siguientes:

- **Accesibilidad:** Esto se debe a que la mayoría de los dispositivos (móviles, PDAs, etc) soportan varias tecnologías inalámbricas que permiten acceder a los recursos de la red desde cualquier punto de su área de cobertura.

- **Movilidad:** Permite realizar consultas y tener acceso a información importante debido a la flexibilidad que tiene, ya que los extremos de la red no se encuentran unidos mediante el uso de cables.
- **Productividad:** Proporciona un acceso seguro a información y aplicaciones a todos los dispositivos que estén dentro de la cobertura de la red.
- **Fácil configuración:** La instalación resulta más rápida y rentable, ya que el uso de cables físicos es innecesario.
- **Escalabilidad:** Debido a necesidades futuras, la red puede ampliarse sin complicación alguna luego de haber sido ya instalada.
- **Costos:** Los recursos para este tipo de redes disminuyen considerablemente debido a la ausencia de conexiones físicas. (Delgado, 2009, p. 18)

### *1.1.3 Inconvenientes*

Al igual que las demás redes, las redes inalámbricas están sujetas a diversos inconvenientes tales como:

- **Calidad de Servicio:** Ofrecen menor velocidad de transmisión en comparación a una red de conexión física.
- **Mayor inversión inicial:** Esto se debe a la lenta estandarización, ya que algunas tecnologías no son compatibles con otras soluciones propietarias, por tanto, el costo de los equipos es superior en comparación a una red cableada.
- **Restricciones:** Por el saturado uso del espectro electromagnético que es necesario como medio de comunicación para el envío de los datos.
- **Seguridad:** La red puede ser víctima de ataques por parte de intrusos que se encuentren dentro del área de cobertura.
- **Alcance:** La cobertura de la red está determinada por la potencia de los equipos y la ganancia de las antenas utilizadas.
- **Interferencias:** El rendimiento de la red se ve disminuido por la presencia de interferencias, ocasionados por otros equipos que trabajan en la misma banda de frecuencia utilizada. (Salveti, 2011, pp. 29-30)

## **1.2 Redes Inalámbricas de Sensores (WSN)**

Las redes WSN (Wireless Sensor Network) consisten en la asociación de sensores distribuidos espacialmente que tienen uno o más nodos receptores llamados también estaciones base; los sensores desarrollan una función común y generan información en tiempo real de diversas condiciones, tales como: temperatura, movimiento, entre otras, estos datos obtenidos sirven de

gran ayuda para realizar análisis, procesamiento, almacenamiento de datos, entre otras actividades. (Reda y Mellouk, 2016: p. 9)

Las redes WSN se componen de nodos sensores que tienen un detector(es), un módulo de radio y una fuente de energía; este tipo de redes se pueden utilizar en muchas aplicaciones, es así que, para comunicaciones que impliquen un rango corto de comunicación, existen diversas tecnologías y estándares disponibles; entre las soluciones más comunes para redes WLAN se encuentra la familia IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4 (Zigbee) que utilizan la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical). (Hämäläinen y Mucchi, 2014: pp. 1-3)

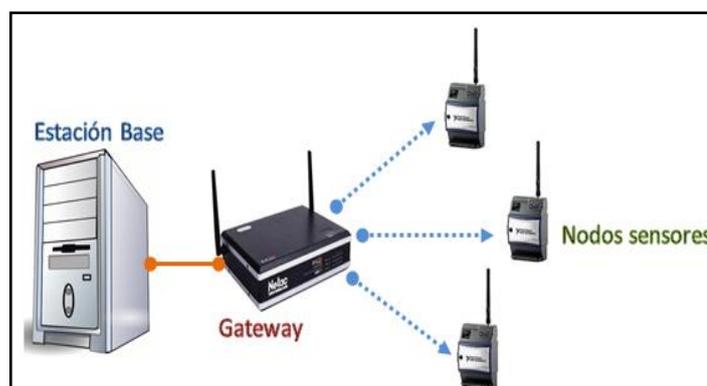
### ***1.2.1 Características***

Las características que presentan las redes de sensores inalámbricas se detallan a continuación:

- Uso de una topología dinámica que permite realizar cambios en la forma de la red, debido a que los nodos pueden trabajar como emisor o receptor.
- Facilidad para variar el canal debido a los inconvenientes que pueden existir en el canal de comunicación al transmitir los datos.
- Tolerante a caídas y fallos que se pueden originar en los nodos de la red.
- La comunicación existente puede ser multisalto o broadcast.
- Presenta una gestión eficiente de la energía debido al bajo consumo de la red. (Huidrobo, 2014)

### ***1.2.2 Arquitectura de Red WSN***

Las redes WSN se forman de un grupo de pequeños dispositivos llamados nodos sensores conectados de modo ad-hoc, un elemento gateway para el transporte de datos fuera de la red y una estación base en donde se almacenarán los datos enviados en la comunicación. En la Figura 3-1 se indica la arquitectura que tiene una red de sensores inalámbricos.



**Figura 3-1:** Arquitectura de Red WSN

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

A continuación, se detalla de forma explícita cada uno de los elementos que forman parte de la arquitectura de una red WSN.

- **Nodos sensores:** Se les conoce también como nodos inalámbricos o “motas” debido a su tamaño reducido, las motas son dispositivos electrónicos que recogen información de su entorno para su posterior procesamiento y transmisión.
- **Gateway:** Es la puerta de enlace de la red que permite interconectar la red de sensores a otra infraestructura de red existente.
- **Estación Base:** Recoge la información enviada por los nodos sensores, esta información es almacenada en una base de datos a la cual los usuarios tienen acceso. (Fernández et al., 2009: pp. 18-23)

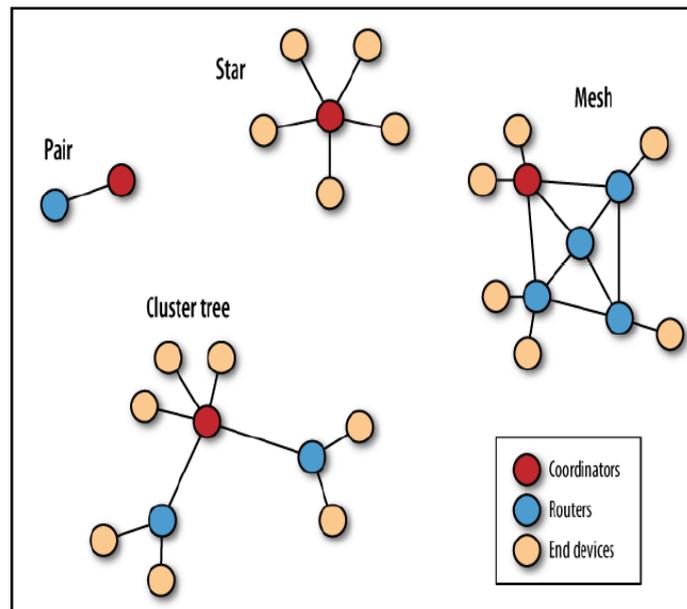
### ***1.2.3 Topologías de Red WSN***

La topología de red es la forma que se utiliza para unir los nodos de una red por medio del uso de enlaces, esta forma puede ser tanto física como lógica. La topología física se refiere a la configuración de todos los dispositivos de la red, mientras que la topología lógica toma en cuenta el método y flujo de información que se envía a través de los nodos. (Salvetti, 2011, p. 21)

Las diferentes topologías que se utilizan en las redes de sensores inalámbricos son las siguientes:

- **Par:** Es la topología más simple en la que intervienen sólo dos nodos, en donde uno de los nodos actúa como coordinador para que se pueda formar la red, mientras que el otro puede configurarse como enrutador o dispositivo final.
- **Árbol extendido:** Es similar a una configuración de malla, en donde los enrutadores forman una especie de enlace troncal con los dispositivos finales agrupados alrededor de cada enrutador. (Faludi, 2011, pp. 27-28)
- **Estrella:** Este tipo de topología conecta directamente los nodos de la red a un nodo central; la administración de la red resulta más fácil ya que esta topología tiene la ventaja de ser robusta cuando un enlace falla.
- **Malla:** Es una topología en donde todos los nodos de la red están conectados entre sí mediante enlaces dedicados punto a punto; tiene la ventaja de ser muy resistente a fallos debido a la existencia de varias rutas en el caso de que un enlace no esté disponible. (Grami, 2016, pp. 476-478)

En la Figura 4-1 se indica cada una de las topologías de red WSN mencionadas anteriormente.



**Figura 4-1:** Topologías de red WSN

Fuente: (Faludi, 2011, p. 28)

#### 1.2.4 Aplicaciones WSN

Las redes WSN pueden incluir diversos tipos de sensores para medir factores en diferentes ámbitos, tales como: aplicaciones militares, industriales, ambientales, entre otras.

- **Aplicaciones militares:** Con ayuda de las WSN es posible desplegar una vigilancia de misiones.
- **Aplicaciones Industriales:** Debido a los avances en la tecnología de sensores, las WSN prevalecen en diversas aplicaciones industriales como, por ejemplo: en la supervisión de refinerías de petróleo, monitorización de tuberías, etc.
- **Aplicaciones Ambientales:** Las redes WSN se utilizan ampliamente para monitorización ambiental y de vida silvestre, tales como: seguimiento de aves o animales, riego automático, estudios de contaminación, entre otros. (Reda y Mellouk, 2016: pp. 11-12)

#### 1.2.5 Tecnologías de comunicación inalámbrica

##### 1.2.5.1 Zigbee

La tecnología inalámbrica Zigbee está diseñada para sistemas de baja potencia con una velocidad baja de transmisión de datos, opera en las bandas ISM del espectro de radio y utiliza la técnica de espectro expandido para el transporte de la información hacia su destino; esta tecnología se basa en el estándar IEEE 802.15.4 destinado para redes WPAN de bajo coste.

Particularmente, esta tecnología está orientada a la domótica, pero también es muy utilizado en sistemas de control y medida, ya que ofrece la capacidad de utilizar microcontroladores pequeños y baratos; debido a la baja expectativa en su velocidad de transmisión, los dispositivos finales Zigbee son capaces de configurarse en modos de reposo, esto hace que Zigbee sea ideal para aplicaciones que requieran un consumo mínimo de energía. (Toulson y Wilmshurst, 2012: pp. 274-275)

#### *1.2.5.2 Wi - Fi*

Wi – Fi (Wireless Fidelity) es la tecnología inalámbrica de conexión de bajo coste que permite el transporte de información a distancias limitadas; esta tecnología de comunicación inalámbrica se basa en el estándar IEEE 802.11 y utiliza la técnica de radio de espectro extendido para que la señal se pueda propagar dentro del intervalo de frecuencias de los anchos de banda públicos permitidos. (Black, 2010, p. 153)

Wi – Fi permite implementar redes locales sin la necesidad de hacer uso de cables, debido a que esta tecnología utiliza ondas de radio y señales infrarrojas en la banda de frecuencias libres; existen diferentes versiones de las redes inalámbricas Wi – Fi, entre las más utilizadas se encuentran las siguientes: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g; sin embargo, actualmente la última versión IEEE 802.11n es la que se impone en el mercado. (Cabezas y González, 2010: p. 46)

#### *1.2.5.3 WiMAX*

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es la tecnología para redes inalámbricas de banda ancha (WLAN o WMAN) diseñada para competir con las redes xDSL y cable – módem debido a que no es necesario que exista visión directa para realizar la conexión de la red, se considera como una alternativa de solución para la instalación de plataformas empresariales.

Esta tecnología se basa en el estándar IEEE 802.16 permitiendo ofrecer servicios de voz y datos ya sea de forma residencial o comercial; WiMAX brinda movilidad a los usuarios ya que es capaz de llegar a lugares donde otras tecnologías no pueden funcionar, es así que, compite directamente con la tecnología Wi-Fi, pero se antepone a ésta debido a que incorpora QoS (calidad de servicio), característica que las redes WiFi no son capaces de asegurar. (Huidrobo, 2011, p. 331)

#### *1.2.5.4 Análisis comparativo de Tecnologías*

Luego de la descripción de cada una de las tecnologías inalámbricas, se procede a realizar un análisis comparativo que indique las principales características que tienen cada una de las

tecnologías analizadas anteriormente; en la Tabla 1-1 se puede observar el cuadro comparativo de las tecnologías de comunicación inalámbrica.

**Tabla 1-1:** Comparación de tecnologías de comunicación inalámbrica

Característica	Zigbee	Wi – Fi (n)	WiMAX
Velocidad (Mbps)	0.250	450	80
Alcance	10 – 100 m	100m	50Km
Frecuencia (GHz)	2.4	2.4	2 - 11
Estándar IEEE	802.15.4	802.11n	802.16
Ventajas	Coste, bajo consumo	Velocidad	Velocidad, alcance
Desventajas	Velocidad	Coste	Coste

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Fuente: (Cabezas y González, 2010 pp. 49-296)

Para evaluar cada una de las tecnologías inalámbricas se utiliza la escala Likert, en donde se estima una ponderación de 1-5 para establecer el nivel de eficiencia que tienen las características de cada tecnología; la escala de valoración que se utiliza se indica en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1:** Escala de valoración

1	2	3	4	5
Nada eficiente	Ineficiente	Poco eficiente	Eficiente	Muy eficiente
0%	1-25%	26-50%	51-75%	76-100%

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Por otro lado, para conocer la eficiencia final de cada una de las tecnologías, se calcula la ponderación que tiene cada tecnología evaluada; para el cálculo de la ponderación se utiliza la fórmula 1.

$$P = \frac{\sum N_i}{T_i} * 100\% \quad (1)$$

En donde:

$N_i$  = Nivel de incidencia de la característica evaluada

$T_i$  = Total de incidencias de la tecnología al 100% de eficiencia

En la Tabla 3-1, se indica el nivel de incidencia de las características de las tecnologías evaluadas, así como también la eficiencia resultante de cada una de ellas, en donde la tecnología que sobresale es Wi-Fi con el 80%.

**Tabla 3-1:** Ponderación de eficiencia de las tecnologías de comunicación inalámbrica

Característica	Nivel de incidencia		
	Zigbee	Wi – Fi (n)	WiMAX
Velocidad	2	4	3
Alcance	2	3	4
Frecuencias	4	4	4
QoS	4	4	5
Consumo	5	5	4
Costo	5	4	3
Total de incidencias	22	24	23
Ponderación de eficiencia	73.33%	80%	76.67%

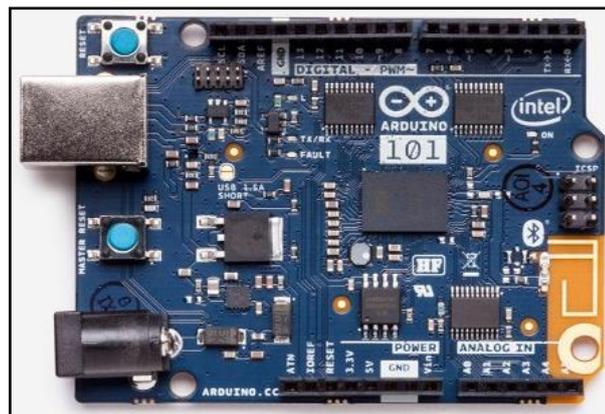
Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### 1.2.6 Plataformas para redes inalámbricas

#### 1.2.6.1 Arduino

Arduino es una plataforma libre diseñada para el desarrollo de prototipos electrónicos; posee un microcontrolador que se programa para desarrollar las actividades requeridas mediante el uso del lenguaje APL (Arduino Programming Language). Esta plataforma es capaz de interactuar de manera sencilla con sensores externos, periféricos, etc. (Casco, 2014)

Uno de los modelos desarrollados por Arduino se indica en la Figura 5-1.



**Figura 5-1:** Placa Arduino

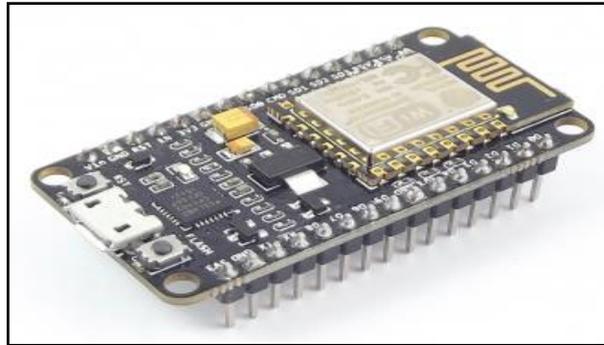
Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/homepage/arduino-101>

#### 1.2.6.2 NodeMCU

NodeMCU es una plataforma de desarrollo de muy bajo coste similar a Arduino; esta plataforma está orientada al IoT (Internet of Things) y fue desarrollada para aplicaciones que necesitan

conectarse a Internet vía Wi-Fi. NodeMCU está formado por un potente procesador con arquitectura de 32 bits, además permite trabajar con el lenguaje de Arduino y con el lenguaje interpretado LUA. (<http://www.naylampmechatronics.com/inalambrico/153-nodemcu-esp8266.html>)

En la Figura 6-1, se puede observar la placa NodeMCU v2 desarrollada por el fabricante Amica.



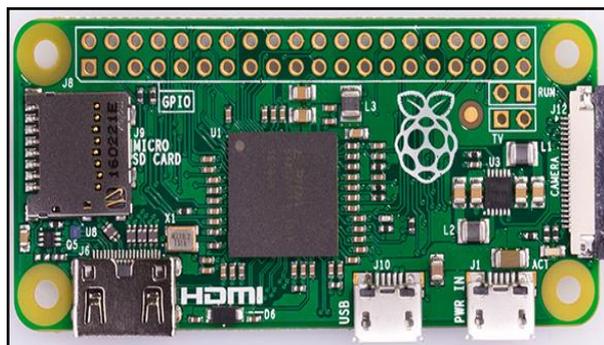
**Figura 6-1:** Placa NodeMCU

**Fuente:** <https://goo.gl/FWmNrZ>

### 1.2.6.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi es una plataforma diseñada a modo de un miniordenador, fue creada con fines didácticos por la Fundación Raspberry Pi; la raspberry pi es un microprocesador de bajo coste que utiliza lenguajes de alto nivel como Python, C++ y Java. Debido a la capacidad que ofrece la raspberry pi para cargar sistemas operativos Linux, permite implementar fácilmente servidores web dedicados. (Casco, 2014)

En la Figura 7-1, se indica uno de los modelos de las placas desarrolladas por la Fundación Raspberry Pi.



**Figura 7-1:** Placa Raspberry Pi

**Fuente:** <https://www.raspberrypi.org/products/pi-zero/>

#### 1.2.6.4 Análisis comparativo de Plataformas

En la Tabla 4-1, se indica el cuadro comparativo de las características más sobresalientes de cada una de las plataformas analizadas anteriormente.

**Tabla 4-1:** Comparación de Plataformas para redes inalámbricas

Característica	Arduino	NodeMCU	Raspberry Pi
<b>Fabricante</b>	Arduino	Amica	Raspberry Pi Foundation
<b>Modelo</b>	Arduino Uno R3	NodeMCU v2	Raspberry Pi 3 Model B
<b>Tamaño</b>	75.14 x 53.51 x 15.08mm	49 x 24.5 x 13mm	85 x 56 x 17mm
<b>Procesador o Microcontrolador</b>	ATMega 328	Tensilica Xtensa LX3	ARM Cortex-A53
<b>RAM</b>	2Kb	96Kb	1Gb
<b>Flash</b>	32Kb	4Mb	Tarjeta SD
<b>WLAN</b>	N/A	802.11 b/g/n	802.11 b/g/ n
<b>Costo</b>	\$15	\$10	\$65

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Fuente: (<https://goo.gl/XfUqnC>) (<https://goo.gl/fmvvCK>) (<https://goo.gl/FD94hC>)

De igual manera se utiliza la escala Likert para realizar la evaluación de las plataformas, así como también se calcula la eficiencia de cada plataforma según la fórmula 1 de ponderación de eficiencia; el resultado de la ponderación de eficiencia de las plataformas se detalla en la Tabla 5-1, en donde la plataforma NodeMCU tiene el mayor porcentaje de eficiencia.

**Tabla 5-1:** Ponderación de eficiencia de las plataformas para redes inalámbricas

Característica	Nivel de incidencia		
	Arduino	NodeMCU	Raspberry Pi
<b>Tamaño</b>	4	5	4
<b>Procesador o Microcontrolador</b>	4	4	5
<b>RAM</b>	3	4	5
<b>Flash</b>	3	4	4
<b>WLAN</b>	1	5	5
<b>Costo</b>	3	5	1
<b>Total de incidencias</b>	18	27	24
<b>Ponderación de eficiencia</b>	60%	90%	80%

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### 1.2.7 Sensores

Los sensores son dispositivos capaces de medir una cantidad física y convertirla en una señal, la misma que puede ser leída e interpretada con la ayuda de un microprocesador. Generalmente, los sensores se pueden clasificar en dos categorías, que se detallan a continuación. (Doukas, 2012, p. 5)

- **Sensores Analógicos:** Estos sensores producen una señal continua que es proporcional al parámetro medido; diversos parámetros físicos como la temperatura, presión, entre otros, se expresan como cantidades analógicas y son medidos como señales continuas.
- **Sensores Digitales:** Este tipo de sensor produce señales discretas, los mismos que son representaciones digitales de las cantidades de los parámetros antes medidos, estos valores discretos se expresan como un grupo de bits que representan una cantidad. (Mukherjee et al., 2015: p. 2)

#### 1.2.7.1 Sensor de Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )

A continuación, se detallan los sensores más comunes utilizados en diferentes aplicaciones como la monitorización del nivel de concentración de dióxido de carbono, control de procesos, entre otros.

- **Sensor MQ135:** El sensor MQ135 ofrece un alcance de detección de  $CO_2$  amplio, una respuesta rápida y alta sensibilidad; este tipo de sensor opera en el rango de detección de 10 – 1000ppm. Es muy utilizado en aplicaciones de control de calidad del aire para la detección de concentración de  $NH_3$  (amoníaco),  $NO_x$  (óxido de nitrógeno), alcohol,  $CO_2$ , entre otros gases. (<http://www.dreamgreenhouse.com/datasheets/MQ-135/MQ-135.pdf>)



**Figura 8-1:** Módulo sensor MQ135

**Fuente:** <https://goo.gl/A1XNBs>

- **Sensor TGS 4161:** Es un sensor pequeño de electrolito sólido que ofrece un bajo consumo de energía, alta selectividad, baja dependencia de humedad, entre otros; su rango de detección de CO<sub>2</sub> varía entre 350-10000ppm. El sensor TGS 4161 es ideal para aplicaciones de control de calidad del aire interior y para monitorización de CO<sub>2</sub>. (<https://cdn.sos.sk/productdata/62/d9/f2bb36a6/tgs-4161.pdf>)



**Figura 9-1:** Sensor TGS 4161

Fuente: <https://goo.gl/YvmFon>

- **Sensor MG811:** El sensor MG811 ofrece una buena selectividad y sensibilidad al dióxido de carbono, baja dependencia de humedad y temperatura, entre otros; su rango de detección de CO<sub>2</sub> es de 350-10000ppm. Este tipo de sensor es utilizado para el control de calidad del aire, control de procesos de fermentación y detección de concentración de CO<sub>2</sub> en temperatura ambiente. (<https://goo.gl/7avkhT>)



**Figura 10-1:** Módulo sensor MG811

Fuente: <https://goo.gl/mcrnNP>

### 1.2.7.2 Análisis comparativo de Sensores de Dióxido de Carbono

En el mercado existen diferentes soluciones de sensores de dióxido de carbono que difieren unos de otros debido a las características que presentan.

En la Tabla 6-1, se puede observar el cuadro comparativo de las principales especificaciones técnicas de los sensores más comunes que se utilizan en aplicaciones de monitorización de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 6-1:** Comparación de los Sensores de Dióxido de Carbono

<b>Característica</b>	<b>MQ135</b>	<b>TGS 4161</b>	<b>MG811</b>
<b>Circuito de acondicionamiento y amplificación</b>	Sí	No	Sí
<b>Dependencia de humedad</b>	Baja	Baja	Baja
<b>Rango de detección de CO<sub>2</sub></b>	10 – 1000ppm	350 – 10000ppm	350 – 10000ppm
<b>Tensión de calentamiento</b>	5.0±0.1V (AC o DC)	5.0±0.2V (DC)	6.0±0.1V (AC o DC)
<b>Corriente de calentamiento</b>	~150mA	~50mA	~200mA
<b>Temperatura de operación</b>	-20°C +70°C	-10 a +50 °C	-20 a +50 °C
<b>Costo</b>	\$7	\$47	\$65

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Fuente: (<https://goo.gl/o2wp1L>) (<https://goo.gl/VwpgC4>) (<https://goo.gl/gcRRNq>)

El resultado de la ponderación de eficiencia de los sensores de dióxido de carbono se indica en la Tabla 7-1, en donde se utiliza la escala de Likert para estimar el nivel de incidencia que tiene cada característica de los sensores analizados.

De igual manera que en los otros análisis detallados anteriormente, se utiliza la fórmula 1 de ponderación de eficiencia para obtener la eficiencia total que tiene cada uno de los sensores evaluados, en donde el módulo sensor mg811 presenta la mayor eficiencia con un porcentaje del 82.5%.

**Tabla 7-1:** Ponderación de eficiencia de los Sensores de Dióxido de Carbono

Característica	Nivel de incidencia		
	MQ135	TGS 4161	MG811
<b>Circuito de acondicionamiento y amplificación</b>	4	1	5
<b>Selectividad y sensibilidad</b>	2	2	5
<b>Dependencia de humedad</b>	5	5	5
<b>Rango de detección de CO<sub>2</sub></b>	1	5	5
<b>Tensión de calentamiento</b>	5	4	3
<b>Corriente de calentamiento</b>	4	5	3
<b>Temperatura de operación</b>	5	3	4
<b>Costo</b>	5	4	3
<b>Total de incidencias</b>	31	29	33
<b>Ponderación de eficiencia</b>	77.5%	72.5%	82.5%

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### ***1.2.8 Fuentes de alimentación***

La energía es uno de los factores a considerar en el diseño de redes de sensores inalámbricos, debido a que la red debe permanecer operativa todo el tiempo; frecuentemente el consumo de energía se convierte en una limitación para las redes WSN, ya que se debe encontrar la alternativa más adecuada para evitar fallos en la red.

Normalmente los nodos sensores se alimentan a través de baterías, las mismas que pueden ser reemplazadas o recargadas cuando se agotan, por lo que la fuente de alimentación a seleccionarse depende del tipo de aplicación y de la duración del tiempo de operación de la red. (Dargie y Poellabauer, 2010: p. 10)

En el mercado existen diferentes soluciones de baterías recargables, tales como: baterías de litio, baterías secas, entre otras, las mismas que pueden ser recargadas mediante la ayuda de paneles solares o de cargadores apropiados. En la Figura 11-1, se indica una de las alternativas a utilizarse como fuente de alimentación para una Red WSN.



**Figura 11-1:** Batería de Litio

**Fuente:** <http://www.ufo-battery.com/detail/high-capacity-battery/135>

### 1.3 Base de Datos

Una base de datos es un programa que permite recopilar datos y provee funcionalidades para añadir, consultar o modificar los datos almacenados; la clasificación de las bases de datos más comunes es la base de datos relacional que almacena la información en tablas, en donde un renglón representa un elemento y una columna indica la característica de ese elemento.

Para interactuar con la base de datos es necesario un lenguaje de consultas; SQL (Structured Query Language) es el lenguaje más popular diseñado para permitir el acceso a las bases de datos, el mismo que permite crear tablas o seleccionar, insertar y actualizar la información; de igual manera para realizar la administración de bases de datos SQL existen herramientas que permiten hacerlo de una forma fácil. (<https://es.khanacademy.org/computing/computer-programming/sql/sql-basics/v/welcome-to-sql>)

PhpMyAdmin es una herramienta de código abierto que está escrita en php que se encarga del manejo de bases de datos SQL a través de una página web, esta herramienta es de licencia libre que puede ser instalada en servidores locales para acceder a la información de las bases de datos SQL ya sea de forma directa o remotamente. (<http://idesweb.es/proyecto/proyecto-prac10-php-mysql-acceso-base-de-datos>)



**Figura 12-1:** Base de Datos

**Fuente:** <https://goo.gl/rSto4Z>

## 1.4 Contaminación del aire

El aire se ve afectado principalmente por sustancias tales como, el dióxido de carbono, los hidrocarburos, metales pesados, entre otros, estas sustancias desgastan la capa de ozono logrando que se agote cada vez más. En América Latina, según datos obtenidos por la OMS se registraron alrededor de 440 mil muertes prematuras a causa de la contaminación del aire. (<https://lahora.com.ec/noticia/1101546982/contaminacion-del-aire-en-ancalis>)

La contaminación del aire se refiere a la introducción de sustancias ajenas en el aire debido a causas tanto naturales como a actividades humanas; la Organización Mundial de la Salud estima que el uso de combustibles sólidos contamina el aire interior; por otro lado, la contaminación del aire producida en zonas urbanas es responsable del 3.2% de enfermedades a nivel mundial.

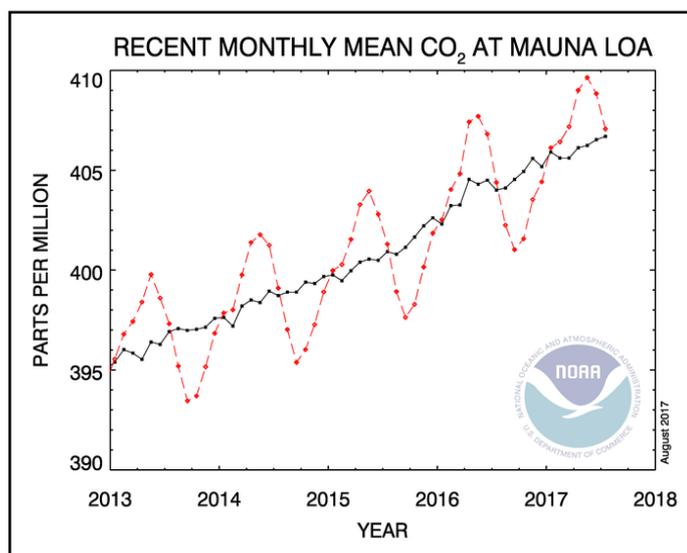
La contaminación del aire afecta en gran medida a los países en desarrollo, en donde la salud de las personas se ve afectada por efectos tales como, infecciones respiratorias, enfermedades cardiovasculares y cáncer de pulmón. ([http://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/air\\_pollution/es/](http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/air_pollution/es/))

### 1.4.1 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

El dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero producido por actividades realizadas por el factor antropogénico (seres humanos); desde la Revolución Industrial el nivel de concentración de dióxido de carbono en la atmósfera aumentó en un 40% debido a la quema de combustibles fósiles y a las actividades humanas, generando el calentamiento global y aumentando el nivel de ácido en el pH (potencial hidrógeno) de los océanos. (Kennedy, 2015)

Según el Boletín sobre los gases de efecto invernadero publicado en el 2015 por la OMM (Organización Meteorológica Mundial), la concentración de dióxido de carbono en el mundo alcanzó un valor significativo de 400ppm, y según predicciones realizadas en la estación de vigilancia en Mauna Loa (Hawái) a partir del año 2016 los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> permanecerán por encima de los 400ppm. (<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-promedio-mundial-de-co2-alcanza-las-400-partes-por-mill%C3%B3n-en-2015>)

En el Gráfico 1-1, se indican los valores promedio mundial de CO<sub>2</sub> medidos en partes por millón (ppm) realizadas por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en Mauna LOA desde el año 2013 hasta el presente año, en donde la línea roja representa los valores medidos mensualmente, mientras que la línea negra representa la misma medición realizada, pero con correcciones para el ciclo estacional promedio. (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>)



**Gráfico 1-1:** Valores promedio mundial medidos por la NOAA

Fuente: [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2\\_trend\\_mlo.png](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/webdata/ccgg/trends/co2_trend_mlo.png)

#### 1.4.2 Efectos en la salud de las personas

La contaminación del aire es el principal responsable de enfermedades y muertes a nivel mundial; las principales fuentes contaminantes que influyen en la salud de las personas son los automotores, la generación de energía, el hogar, entre otras; a continuación, se detalla el porcentaje de incidencia que tiene la contaminación ambiental en la salud de las personas:

- 22% de enfermedades y muertes debido a enfermedades isquémicas del corazón.
- 15% de muertes en niños menores a 5 años a causa de neumonía.
- 5% de muertes ocasionadas por EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica). (Soares, 2014)

Según la OMS, anualmente en el mundo mueren más de siete millones de personas debido a la contaminación atmosférica, ya sea ésta dentro o fuera del hogar, en donde 3,7 millones de muertes están relacionadas a la contaminación ambiental producida al exterior de los hogares, mientras que el 4,3 restante se debe a contaminación dentro del hogar especialmente producida por la combustión de carbón o biomasa que se utiliza para cocinar con madera. (<http://www.elcomercio.com/tendencias/ibarra-y-ambato-son-ciudades.html>)

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> que sobrepasan los 50000ppm (5% de volumen) de dióxido de carbono se consideran perjudiciales para la salud provocando la muerte; sin embargo, para valores que sobrepasan los 2000ppm se pueden generar molestias, tales como: mareos, dolores de cabeza, falta de concentración, cansancio, entre otras. En la Tabla 8-1, se detallan los lugares con los respectivos niveles permitidos de acuerdo con la proporción en volumen de concentración de dióxido de carbono. (<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/definicion-calidad-aire-y-co2.htm>)

**Tabla 8-1:** Lugares y niveles de concentración de CO<sub>2</sub> permitidos

Nivel de concentración de CO <sub>2</sub>		Lugares
% <sup>1</sup>	ppm	
0,04	400	Valor promedio mundial (aire limpio)
0,07	700	Aire limpio en una ciudad
0,1	1000	Aire en interiores
0,15	1500	Aire en oficinas
0,2	2000	Aire en oficinas con ventanas cerradas
0,5	5000	Valor máximo tolerable

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

**Fuente:** <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/definicion-calidad-aire-y-co2.htm>

### 1.4.3 Contaminación del aire en Riobamba

#### 1.4.3.1 Calidad del aire en Riobamba

Según los datos presentados por la empresa CORPAIRE para el Informe del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2014, en el periodo 2008 - 2010 se presentaron violaciones en la calidad del aire de la ciudad de Riobamba, esto se debe a emisiones de ceniza volcánica, áreas agrícolas que no cuentan con recubrimiento vegetal, así como también vías en mantenimiento o no asfaltadas.

Por otro lado, el notable incremento del parque automotor registrado desde el año 2012 y la presencia de industrias que se encuentran localizadas en el perímetro urbano de la ciudad, hacen que el aire de la ciudad de Riobamba tenga niveles de contaminación. En la Tabla 9-1, se puede observar las principales fuentes contaminantes y el nivel de riesgo de incidencia en el aire de la ciudad de Riobamba. (GAD Municipal Riobamba, 2014)

**Tabla 9-1:** Niveles de riesgo de fuentes contaminantes en la ciudad de Riobamba

Factor	Fuente	Nivel de riesgo
<b>Polvo y ceniza volcánica</b>	Natural	Medio
<b>Contaminación por emanación de CO<sub>2</sub> y gases</b>	Antrópica	Alto
<b>Radiaciones electromagnéticas</b>	Antrópica	Medio
<b>Contaminación por desechos orgánicos e inorgánicos</b>	Antrópica	Alto

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

**Fuente:** (GAD Municipal Riobamba, 2014)

<sup>1</sup> 1% = 10000ppm

#### *1.4.3.2 Contaminación producida por el parque automotriz*

El parque automotriz produce la mayor cantidad de carga de contaminación ambiental especialmente ante la presencia de tráfico vehicular, las emisiones que se generan influyen directamente en la atmósfera afectando a nivel local, regional y global. La mayoría de los automotores que circulan en el Ecuador utilizan combustibles fósiles, tales como, gasolina y diésel que son los principales agentes contaminantes de  $\text{CO}_2$ , debido a que están formados por diferentes hidrocarburos que una vez que entran en el proceso de combustión producen vapor de agua y  $\text{CO}_2$  principalmente. (Ministerio del Ambiente, 2014)

Según el Ministerio del Ambiente el combustible utilizado en el país es de mala calidad ya que no cumple con las normas internacionales para proteger la salud de las personas, además, a esto se suma la falta de control por parte de las autoridades respectivas, situación que hace que en el Ecuador puedan circular fácilmente buses sin tecnología moderna (Euro1, Euro2 y Euro3) que funcionan solamente a base de combustible de baja calidad. Para que un combustible no se considere contaminante debe generar un nivel de 10ppm, pero en nuestro país la situación cambia radicalmente ya que se utiliza un combustible de 500ppm superando así los niveles recomendados por la OMS. (<http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>)

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla el diseño metodológico que se utiliza para el desarrollo de la propuesta tecnológica, así como también se especifican los requerimientos necesarios tanto de software como de hardware, en donde se definen los elementos, características y arquitectura de red más adecuados para realizar el diseño de la red de sensores inalámbricos planteado, considerando el buen rendimiento y asegurando una buena relación beneficio-costos; de igual manera se especifica el funcionamiento que desempeña la red para dar solución al problema descrito en el presente trabajo de titulación.

#### 2.1 Diseño metodológico

La metodología que se utiliza en el trabajo de titulación se basa en una investigación tecnológica experimental de carácter mixto, en donde se aplica el método inductivo para recopilar la información necesaria que permita determinar las características más adecuadas para que la red WSN realice la correcta monitorización de los niveles de contaminación de CO<sub>2</sub> del aire, mientras que la técnica de recopilación de datos más acertada para la ejecución del proyecto es el método de campo, en donde, durante un tiempo determinado se analizan, obtienen y recogen datos de los niveles de concentración de dióxido de carbono por medio de los nodos sensores de la red.

La propuesta tecnológica es de carácter mixto, ya que durante todo el proceso investigativo y de ejecución de las pruebas de funcionamiento del prototipo, se analizan variables tanto cualitativas como cuantitativas. Por otro lado, la población determinada para este proyecto son los habitantes de la ciudad de Riobamba de la provincia de Chimborazo, en donde se realiza un muestreo no probabilístico para determinar la muestra de estudio, por lo tanto, para establecer la muestra en donde se ejecutarán las pruebas de funcionamiento del prototipo, se consideran los siguientes criterios: ambiente de menor congestión vehicular y ambiente con mayor congestión vehicular.

Para la ejecución de las pruebas de funcionamiento, los ambientes considerados como muestra de estudio están ubicados en el centro de la ciudad de Riobamba; la localización del primer ambiente es en el balcón del Salón José María Román del GAD Municipal de Riobamba, mientras que para las pruebas del segundo ambiente se toma en cuenta la Av. La Prensa y Agustín Dávalos, sector del Terminal Terrestre; en cuanto al tiempo de funcionamiento se considera realizarlo durante dos horas por tres días consecutivos, en las horas pico de: 8-10 AM, 12-14 PM y 17-19PM; el tiempo estimado se basa en un cálculo de duración de descarga de batería.

## 2.2 Requerimientos de la Red de Sensores Inalámbricos

### 2.2.1 Hardware

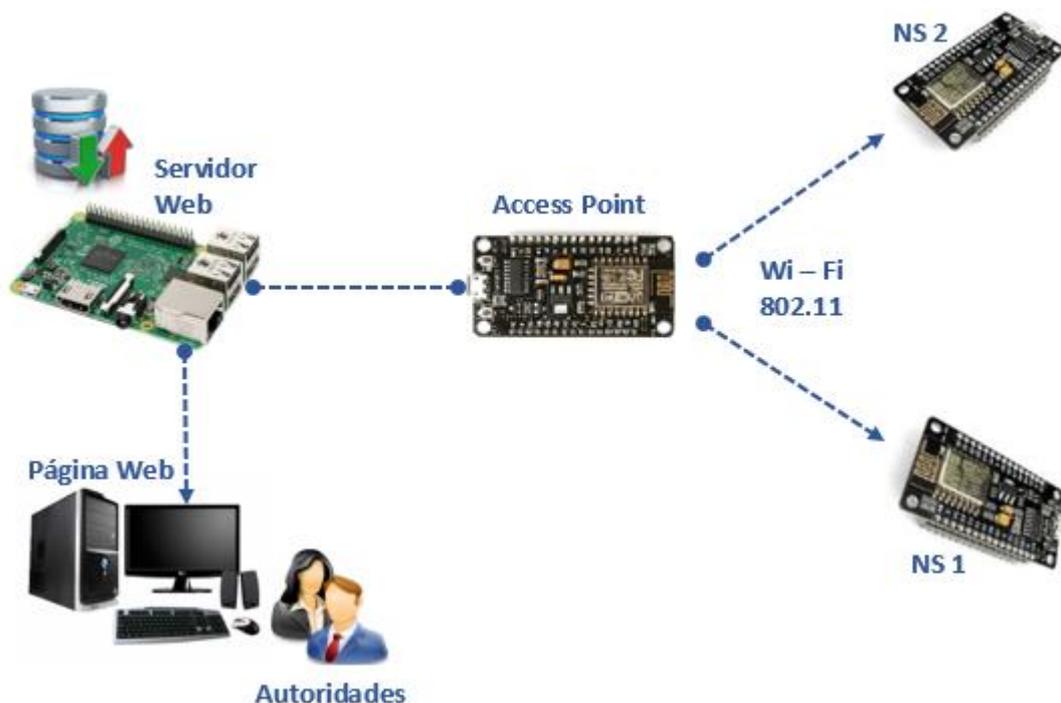
Para el diseño de la red se requiere cumplir con características que aseguren: escalabilidad, flexibilidad, fácil instalación, posibilidad de adaptarse a cualquier ambiente de prueba y seguridad en la red; así como también debe asegurar que la red se mantenga operativa dentro del rango de cobertura de acuerdo con la tecnología seleccionada, además cuente con los respectivos parámetros de protección para evitar fallos en la red por condiciones ambientales o factores adversos y que los dispositivos a utilizarse se puedan adquirir fácilmente en el mercado del país a precios módicos.

### 2.2.2 Software

Para el desarrollo del diseño de la red se requiere que el software a utilizar sea de licencia GPL (General Public License), fácil configuración y manejo para que el usuario pueda realizar tareas de manera rápida y efectiva.

## 2.3 Diseño de la Red de Sensores Inalámbricos

Luego de haber estudiado los requerimientos necesarios para el diseño de una red de sensores inalámbricos, el diseño general del prototipo de la red WSN se indica en la Figura 1-2, en donde la tecnología seleccionada es Wi-Fi según el resultado obtenido en la Tabla 3-1.



**Figura 1-2:** Diseño de la Red de sensores inalámbricos

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

La red de sensores inalámbricos a desarrollar se basa en una red tipo estrella con tecnología Wi-Fi, integrada por un mecanismo de detección y un mecanismo de control que cumplen con los requerimientos tanto de hardware como de software que intervienen en el diseño de la red.

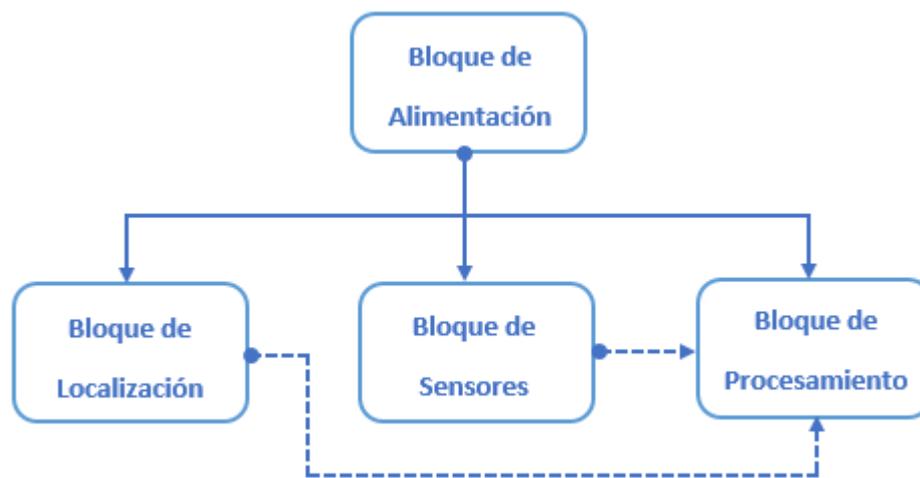
El mecanismo de detección se encarga de recoger los datos del entorno y enviar esta información al mecanismo de control; a su vez el mecanismo de control realiza el procesamiento y transporte de la información en la red, para su posterior almacenamiento y visualización.

### 2.3.1 Mecanismos de la Red WSN

#### 2.3.1.1 Mecanismo de detección

Esta etapa tiene a cargo, la función de recoger la información y enviarla al mecanismo de control; el mecanismo de detección está integrado por cuatro bloques: alimentación, procesamiento, localización y sensores. El bloque de alimentación del mecanismo de detección es el que se encarga de proveer energía para el funcionamiento de los bloques de procesamiento, localización y sensores.

A su vez, el bloque de localización es el encargado de entregar la ubicación del nodo sensor, finalmente el bloque de procesamiento es el que procesa la información recibida tanto del bloque de sensores como del bloque de localización y transmite dicha información por la red. En la Figura 2-2, se indican los bloques que forman parte del mecanismo de detección.



**Figura 2-2:** Bloques del mecanismo de detección

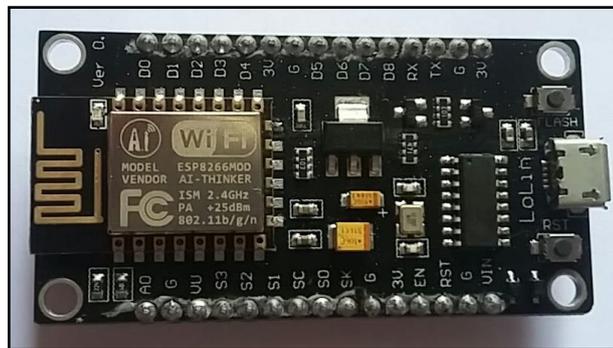
**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

A continuación, se detallan los componentes seleccionados para cada uno de los bloques del mecanismo de detección.

a. Bloque de Procesamiento

En base al análisis comparativo de plataformas realizado en la Tabla 4-1 y al nivel de eficiencia indicado en la Tabla 5-1, la plataforma seleccionada a utilizarse tanto para el mecanismo de detección como para el de control es NodeMCU v3, debido a que se impone ante las otras tarjetas electrónicas por su costo, y principalmente por tener incorporada la antena Wi-Fi para la comunicación y transmisión inalámbrica.

En esta etapa la placa NodeMCU se configura en modo cliente y se integra el protocolo de encriptación WPA2 como mecanismo de seguridad para asegurar la confidencialidad e integridad de la información, a través de la autenticación de la red, esta configuración se puede observar en el Anexo B. En la Figura 3-2, se indica la tarjeta electrónica que se utiliza en el bloque de procesamiento para el mecanismo de detección y control.



**Figura 3-2:** NodeMCU v3

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

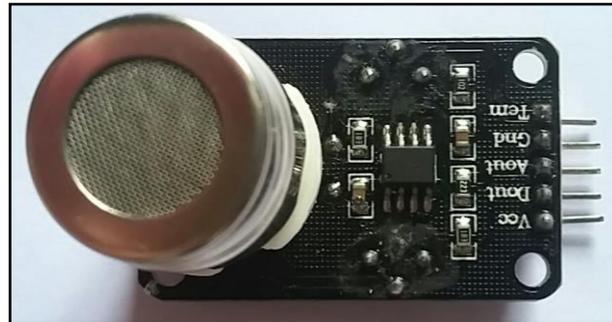
Las principales características de NodeMCU v3 se detallan a continuación. (Del Valle, 2017)

- Tensión de entrada: 5V – USB
- Tensión de referencia ADC: 3.3V
- Corriente: 50mA
- 13 pines digitales (D0 – D12)
- 1 pin analógico (A0)

b. Bloque de Sensores

En las Tablas 6-1 y 7-1 se indica la evaluación de los sensores de dióxido de carbono más comunes en el mercado y el resultado del nivel de eficiencia respectivamente, en donde el sensor seleccionado para el prototipo es el módulo sensor MG811, debido a que tiene incorporado un circuito de acondicionamiento y amplificación de la señal, además este módulo ofrece una buena selectividad y sensibilidad, característica que lo hace ser el más idóneo para este tipo de

aplicación, a pesar de tener un costo más elevado en comparación a los otros sensores. En la Figura 4-2, se indica el módulo sensor que se utiliza para el bloque sensor.



**Figura 4-2:** Módulo sensor MG811

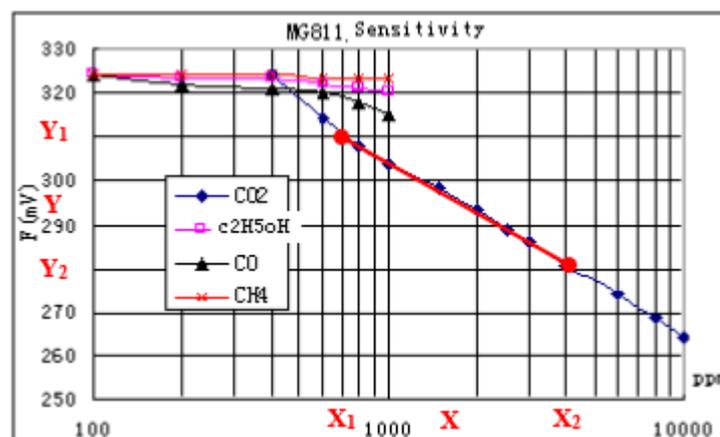
Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

A continuación, se detallan las principales características del sensor MG811. (<http://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Solid%20Electrolyte%20CO2%20Sensor/MG811%20CO2%20Manual.pdf>)

- Voltaje de operación:  $6.0 \pm 0.1V$  (AC o DC)
- Corriente: 200mA
- Rango de detección de CO<sub>2</sub>: 350 – 10000ppm
- Temperatura de operación: -20 a +50 °C
- Baja dependencia de humedad

Para más información acerca de las características técnicas del sensor MG811 ver Anexo A.

Por otro lado, para calibrar el sensor MG811 se aproxima la curva logarítmica a una ecuación lineal que es aproximadamente equivalente a la curva original del sensor, para esto se calcula la pendiente entre dos puntos de referencia para obtener la ecuación de la recta y determinar la curva aproximada de concentración de CO<sub>2</sub> en ppm.



**Figura 5-2:** Puntos de referencia para calibración del sensor

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

En la Figura 5-2, se puede observar los puntos de referencia que sirven para realizar el cálculo de la pendiente, en donde la pendiente de la recta se calcula con la fórmula 2.

$$m = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \quad (2)$$

donde:

$m$  = pendiente de la recta

$Y_1$  = Voltaje inicial de referencia

$Y_2$  = Voltaje final de referencia

$X_1$  = Logaritmo del punto inicial de referencia

$X_2$  = Logaritmo del punto final de referencia

Para obtener la curva aproximada de concentración de CO<sub>2</sub> en ppm se utiliza la ecuación de la recta que se indica en la fórmula 3, en donde se realiza una transformación no logarítmica del valor obtenido de la ecuación de la recta para obtener el porcentaje de concentración de CO<sub>2</sub> existente en el ambiente, tal como se indica en la fórmula 4.

$$X = \frac{(Y - Y_1)}{m} + X_1 \quad (3)$$

donde:

$X$  = Valor logarítmico en ppm

$Y$  = Voltaje resultante antes de la etapa de amplificación del sensor

$m$  = Pendiente de la recta

$Y_1$  = Voltaje inicial de referencia

$X_1$  = Logaritmo del punto inicial de referencia

$$\text{Porcentaje} = 10^X \quad (4)$$

Por otro lado, el cálculo del voltaje resultante antes de la etapa de amplificación se puede observar en el Anexo B de configuración de los nodos sensores, en donde se define la Función MGRead para la lectura en voltios de los datos obtenidos por el sensor.

A continuación, se indica el reemplazo de los puntos de referencia, en donde se toma en cuenta los valores recomendados por el fabricante del sensor.

$$X = (Y - 0.324) \frac{0.324 - 0.265}{\log 400 - \log 10000} + \log 400$$

$$X = -0.0422(Y - 0.324) + 2.602$$

$$\text{Porcentaje} = 10^{-0.0422(Y-0.324)+2.602}$$

### c. Bloque de Localización

El bloque de localización está integrado por un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), el mismo que se encarga de entregar la ubicación de los nodos sensores; el dispositivo seleccionado para este bloque es el módulo GPS UBlox NEO 6M, el cual se indica en la Figura 6-2.



**Figura 6-2:** Módulo GPS UBlox NEO 6M

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

El módulo GPS UBlox NEO 6M mide los parámetros de latitud, longitud, altitud, velocidad, entre otros; este módulo es de tamaño reducido, lo que lo hace ideal para este tipo de proyectos; el módulo GPS utiliza el puerto serial UART para comunicarse. ([http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product\\_id=73](http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product_id=73))

El módulo que se utiliza en el bloque de localización presenta las siguientes características:

- Voltaje de operación: 5V
- Corriente: 55mA
- Temperatura de operación: 40 – 85°C
- Antena incorporada de 18.2 x 18.2 x 4.0 mm
- Sensibilidad: -165dBm

#### d. Bloque de Alimentación

Para el bloque de alimentación se toma en cuenta el cálculo de duración de la batería para estimar el tiempo necesario de ejecución de las pruebas de funcionamiento del prototipo, en donde el tiempo de duración de la batería se calcula con la fórmula 5. En este apartado se realizan los cálculos de tiempo de descarga de las baterías tanto para el mecanismo de control como para el de detección, ya que los dos mecanismos utilizan un bloque de alimentación similar.

$$\text{Tiempo de duración de batería} = \frac{\text{carga eléctrica}}{\text{consumo eléctrico dispositivos}} \quad (5)$$

En esta etapa se utilizan dos tipos de baterías; la primera batería se encarga de proveer energía a las tarjetas electrónicas que se utilizan en los bloques tanto del mecanismo de control como el de detección, así como también para el módulo GPS UBlox Neo 6M del bloque de localización del mecanismo de detección; la segunda batería en cambio se encarga específicamente del módulo sensor MG811 del bloque sensor del mecanismo de detección, ya que el módulo sensor MG811 necesita una fuente de alimentación más alta que ofrezca mejores prestaciones debido a que su consumo de energía es más elevado a diferencia de los otros componentes.

La batería que se utiliza para el sensor MG811 es una batería seca recargable de 6vDC – 1.3Ah, la cual se conecta a un elevador de voltaje para cumplir con los requerimientos del sensor, debido a que distintos fabricantes de este sensor recomiendan que la alimentación sea con fuentes que entreguen de 7-12V, razón por la cual se considera como una alternativa de solución el uso de un elevador de tensión ajustable para no sobrepasar el rango de tensión recomendado. En las Figuras 7-2 y 8-2 respectivamente, se indica la batería seca y el módulo elevador mencionados anteriormente.

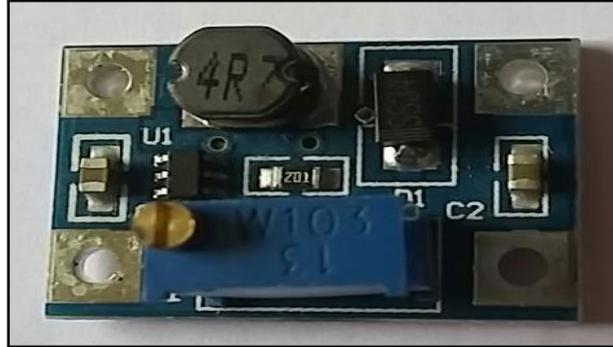


**Figura 7-2:** Batería seca NP1.3 - 6

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

Las principales características de la batería seca se detallan a continuación.

- Voltaje nominal: 6vDC
- Capacidad: 1.3Ah
- Voltaje de carga máximo: 7.45V
- Corriente inicial: menor a 0.96A



**Figura 8-2:** Elevador de tensión SX1308

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

El elevador de tensión SX1308 tiene las siguientes características (<https://goo.gl/t9iG7p>):

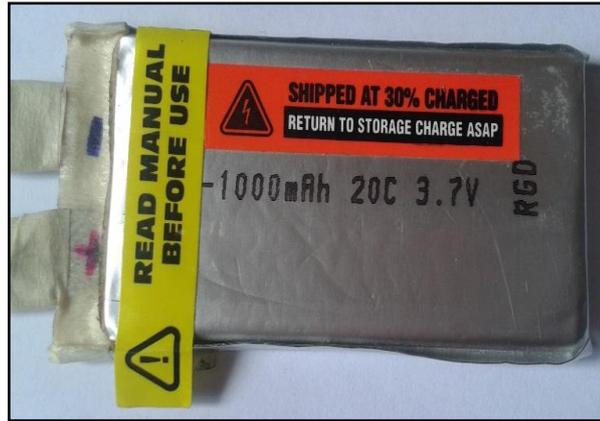
- Voltaje de entrada: 2 – 24V DC
- Voltaje de salida: 2 – 28V DC
- Corriente de salida: 2A máx.
- Potenciómetro de 10K $\Omega$  para ajustar la tensión de salida
- Tiene un circuito de protección ante cortocircuitos

Luego de conectar la batería seca con el módulo elevador de tensión y ajustar el potenciómetro, el voltaje y corriente de salida aproximado es de 8.6V y 2100mA respectivamente, además se conoce que el consumo del sensor MG811 es de 200mA, estos datos nos permiten reemplazar en la fórmula del tiempo de duración de batería para conocer el tiempo de descarga que tiene la batería seca.

$$\text{Tiempo de duración de batería} = \frac{2100}{200}$$

$$\text{Tiempo de duración de batería} \approx 10 \text{ horas}$$

La batería que se utiliza en el bloque de alimentación del mecanismo de detección es una batería recargable polímero ion de litio de 3.7V – 1000mAh, la misma que se indica en la Figura 9-2; este tipo de batería cuenta con protección ante sobrecargas y trabaja a una temperatura de 20° C.



**Figura 9-2:** Batería polímero ion litio 3.7V – 1000mAh

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

En la Tabla 1-2, se indica el consumo de corriente que tienen los dispositivos del bloque de procesamiento y de localización del mecanismo de detección, en donde se puede observar que el consumo total es de 175mA.

**Tabla 1-2:** Consumo de los dispositivos que integran el mecanismo de detección

Dispositivos	Corriente (mA)
NodeMCU v3	120
GPS UBlox NEO 6M	55
<b>TOTAL</b>	<b>175</b>

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

De igual manera que la batería seca, la batería de litio se conecta a un elevador de tensión para ajustarle a un voltaje de 5V debido a que las tarjetas electrónicas que se utilizan en el prototipo necesitan de este voltaje para su normal funcionamiento; en cuanto a la corriente de salida que se obtiene es de aproximadamente 1500mA, y su tiempo de descarga es el siguiente:

$$\text{Tiempo de duración de batería} = \frac{1500}{175}$$

$$\text{Tiempo de duración de batería} \approx 8 \text{ horas}$$

Por otro lado, el consumo de energía de los dispositivos del bloque de procesamiento y almacenamiento del mecanismo de control se detallan en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Consumo de los dispositivos que integran el mecanismo de control

<b>Dispositivos</b>	<b>Corriente (mA)</b>
<b>NodeMCU v3</b>	120
<b>Raspberry Pi 3 Model B</b>	350
<b>TOTAL</b>	470

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

El consumo total de los dispositivos del mecanismo de control es de 470mA, debido a esto se utiliza una batería polímero ion de litio que tenga una corriente más elevada para abastecer al mecanismo de control sin inconveniente alguno. La batería que se utiliza en el bloque de alimentación del mecanismo de control es una batería de litio de 3.7V – 3000mAh que se conecta a un elevador de tensión para ajustar su voltaje a 5V con una corriente de salida aproximada de 3500mA; a continuación, se detalla el cálculo del tiempo de duración de la batería del mecanismo de control.

$$\text{Tiempo de duración de batería} = \frac{3500}{470}$$

$$\text{Tiempo de duración de batería} \approx 7 \text{ horas}$$

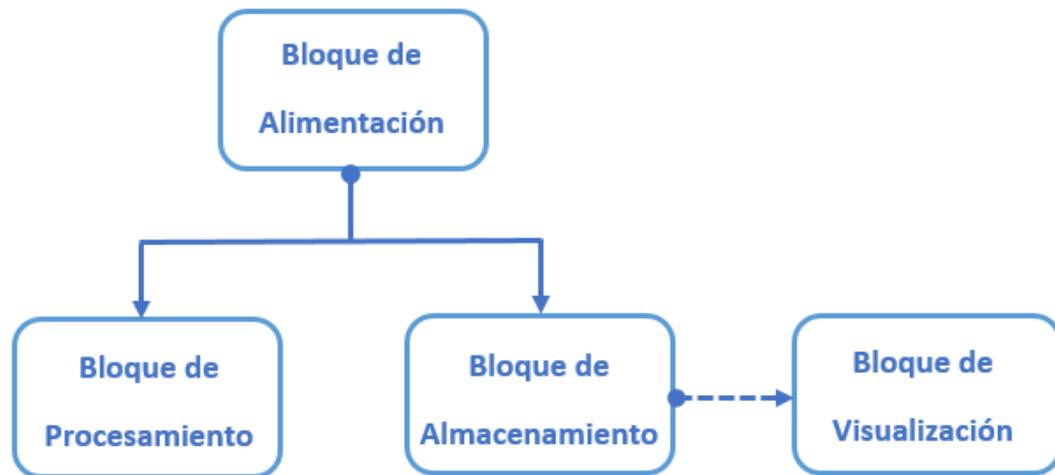
Las baterías que integran el bloque de alimentación del mecanismo de detección tienen un tiempo de descarga aproximado de 10 y 8 horas para la batería seca y batería de litio respectivamente, mientras que la batería de litio que se utiliza para el bloque de alimentación del mecanismo de control tiene un tiempo de descarga aproximado de 7 horas; es así que en base a los cálculos realizados anteriormente se estima que el tiempo necesario para realizar la ejecución de las pruebas de funcionamiento del prototipo sin ningún inconveniente es de 6 horas al día.

#### *2.3.1.2 Mecanismo de control*

Esta etapa permite almacenar y visualizar la información recibida del mecanismo de detección una vez que ya ha sido procesada; este mecanismo se integra de cuatro bloques: alimentación, procesamiento, almacenamiento y visualización.

El bloque de procesamiento del mecanismo de control es exactamente el mismo que se utiliza en el mecanismo de detección, pero varía en el modo de configuración de la placa electrónica ya que se configura en modo AP (Access Point) tal como se indica en el Anexo C.

Por otro lado, el bloque de alimentación es similar al que se utiliza en el mecanismo de detección, pero difiere en la utilización de la batería seca; los bloques que forman parte del mecanismo de control se pueden observar en la Figura 10-2.



**Figura 10-2:** Bloques del mecanismo de control

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

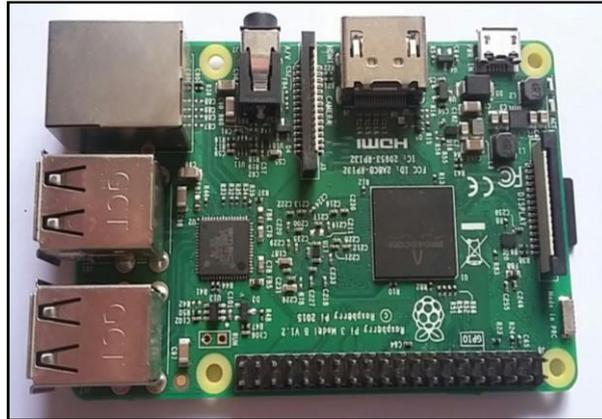
a. Bloque de Almacenamiento

En esta etapa se utiliza la placa electrónica Raspberry Pi 3 Model B para instalar un servidor Web que permita crear una base de datos MySQL para almacenar los datos recibidos por el mecanismo de control a través de una página web creada; en el Anexo D se indica la configuración de la página web tanto del nodo 1 como del nodo 2; las características que tiene el servidor son las siguientes:

- Sistema operativo: Raspbian
- Servidor web: Apache
- Sistema de gestión de bases de datos: MySQL
- Lenguaje de programación: PHP

Para la administración de la base de datos MySQL de una forma sencilla se utiliza la herramienta PHPMyAdmin escrita en lenguaje php, mediante la cual se pueden crear las tablas necesarias para guardar la información respectiva de cada uno de los nodos sensores.

La placa electrónica que se utiliza en este bloque ofrece grandes prestaciones, por lo que se considera ideal para este tipo de aplicación. En la Figura 11-2, se puede observar la placa electrónica que forma parte de este bloque.



**Figura 11-2:** Raspberry Pi 3 Model B

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

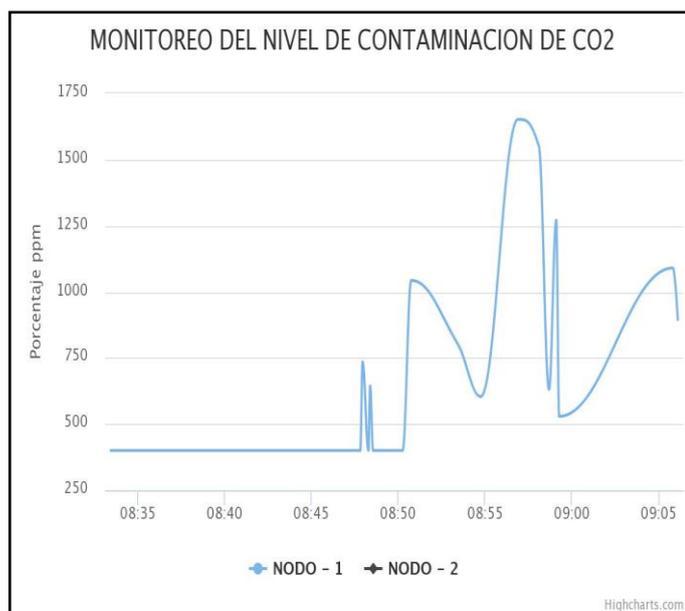
Las principales características de la placa raspberry pi se detallan a continuación. (<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/14ba/0900766b814ba5fd.pdf>)

- Voltaje de operación: 5V
- Corriente: 350mA
- Un puerto ethernet y cuatro puertos USB
- Wireless LAN 802.11b/g/n y Bluetooth 4.1

#### b. Bloque de Visualización

El bloque de visualización es un complemento del bloque de almacenamiento del mecanismo de control, ya que mediante la creación de una página web en el servidor y con la ayuda de la librería HighChart es posible crear un reporte gráfico de la información almacenada en la base de datos, esto con el objetivo de que las autoridades gubernamentales puedan observar de una manera sencilla las variaciones de los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en función del tiempo.

La aplicación web, genera una gráfica de los dos nodos sensores que componen la red de monitorización, además el reporte gráfico puede ser descargado en los formatos disponibles tales como, jpeg, pdf, entre otros; la configuración de la página web del reporte gráfico se puede observar en el Anexo E. En la Figura 12-2 se puede observar la interfaz del reporte gráfico de la monitorización de la red.



**Figura 12-2:** Interfaz del reporte gráfico

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### 2.3.2 Esquema de conexión de los mecanismos de la red WSN

En este apartado se detallan las conexiones que se realizan entre los diferentes dispositivos que integran tanto el mecanismo de detección como el de control, además se indica el esquema final de conexión de cada uno de los mecanismos.

#### 2.3.2.1 Mecanismo de detección

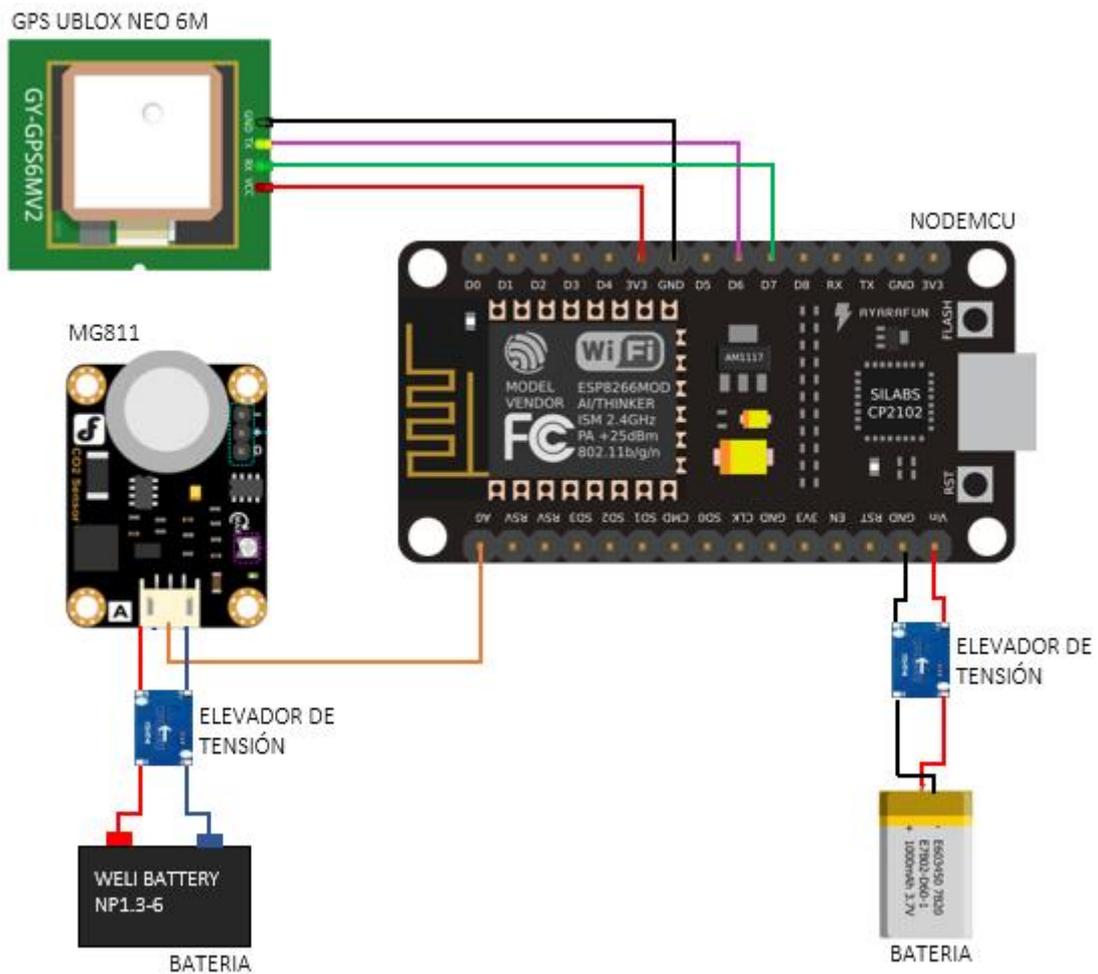
En la Tabla 3-2, se detalla la conexión entre los dispositivos del bloque de sensores y localización con la placa electrónica del bloque de procesamiento.

**Tabla 3-2:** Conexión de los dispositivos del mecanismo de detección

Mecanismo de detección		NodeMCU
<b>Sensor MG811</b>	Aout	A0
<b>GPS UBlox NEO 6M</b>	Vcc	Pin 3V
	Rx	Pin D7
	Tx	Pin D6
	Gnd	Pin GND

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

El esquema final de conexión de los diferentes bloques que forman el mecanismo de detección se indica en la Figura 13-2.

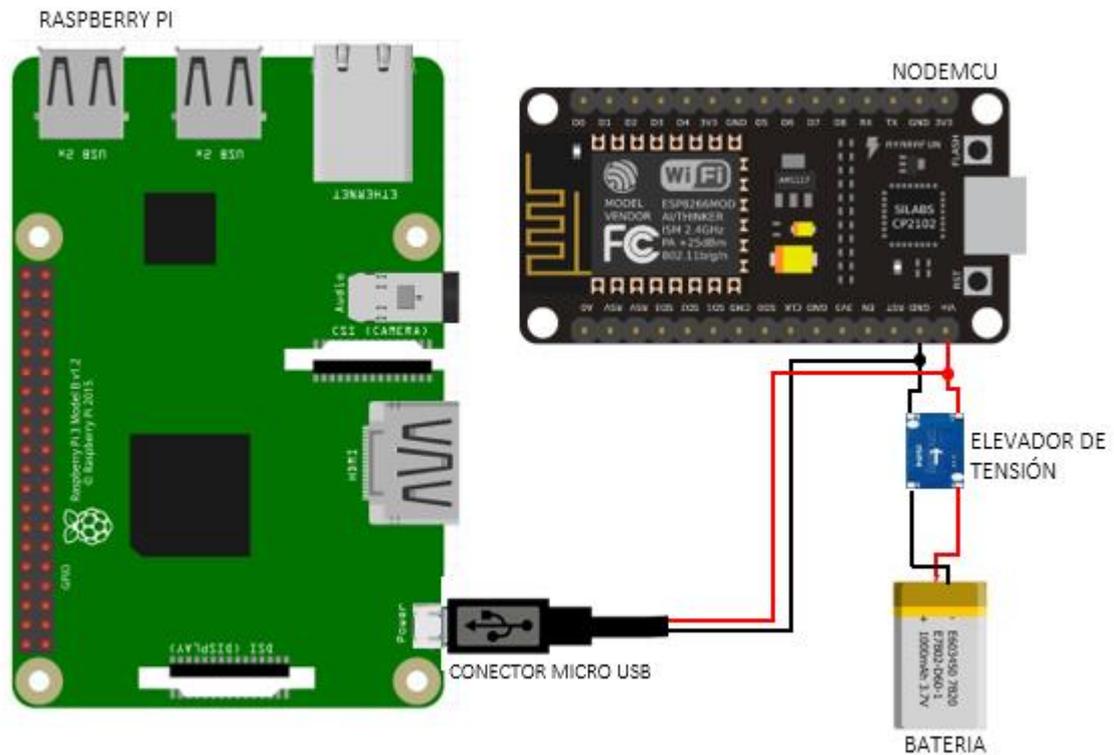


**Figura 13-2:** Conexión del mecanismo de detección

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### 2.3.2.2 Mecanismo de control

En el mecanismo de control existe solo una conexión física entre la batería del bloque de alimentación y las tarjetas electrónicas de los bloques de procesamiento y almacenamiento respectivamente; la conexión entre los dos dispositivos que integran los bloques de procesamiento y almacenamiento del mecanismo de control se lo hace inalámbricamente. En la Figura 14-2, se indica el esquema de conexión de los bloques que integran el mecanismo de control.



**Figura 14-2:** Conexión del mecanismo de control

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

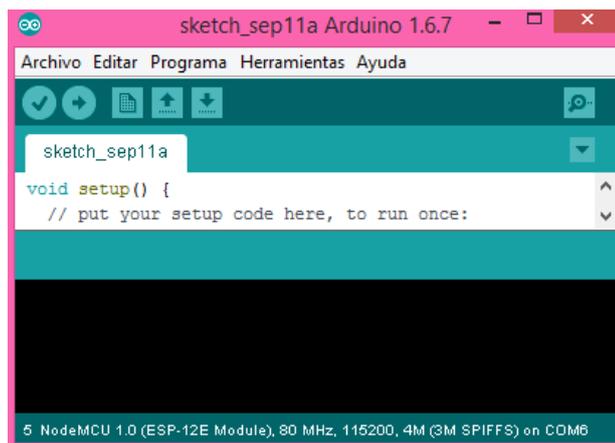
### 2.3.3 Herramientas software

A continuación, se describen las herramientas software necesarias para el desarrollo del software de medición de dióxido de carbono.

#### 2.3.3.1 Software Arduino IDE

El Software Arduino IDE (Arduino Integrated Development Environment) es un entorno de programación de código abierto que se basa en el lenguaje C++; este software permite comunicarse con el hardware Arduino para cargar el software de programación desarrollado.

El software Arduino IDE integra un editor de texto para desarrollar softwares de programación, una consola de texto, una barra de herramientas con una serie de funcionalidades que permiten el uso de librerías (<https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>). Para el desarrollo del software de medición de dióxido de carbono se hizo uso del Software Arduino IDE v1.6.7; en la Figura 15-2 se indica el editor de texto del software mencionado.

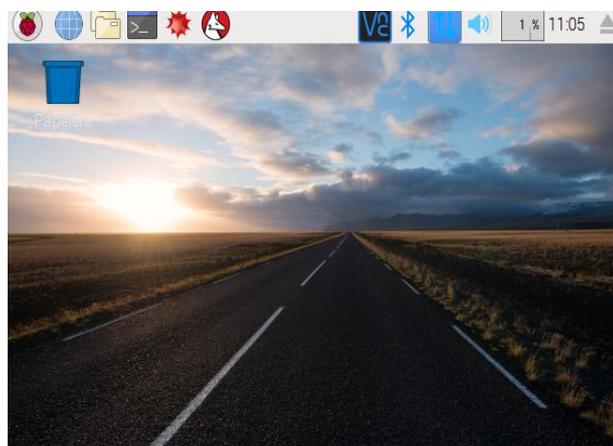


**Figura 15-2:** IDE Arduino

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### 2.3.3.2 Sistema Operativo Raspbian

Raspbian es una distribución libre de los sistemas operativos GNU/Linux, basado en Debian; raspbian es el sistema operativo oficial soportado por raspberry pi y ofrece más de 35000 programas precompilados para el desarrollo de aplicaciones en una raspberry (<https://distrowatch.com/table.php?distribution=raspbian>). En la Figura 16-2, se puede observar el escritorio del sistema operativo raspbian.



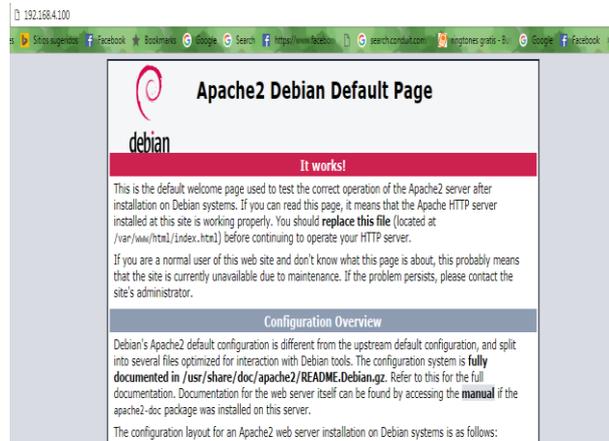
**Figura 16-2:** Escritorio Raspbian

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### 2.3.3.3 Servidor web Apache

El servidor http Apache es un software de código abierto orientado a la implementación de código fuente robusto, de calidad y que se encuentre libremente disponible en un servidor web o http; este servidor puede ser implementado en plataformas que integren el protocolo HTTP (Protocolo de transferencia de hipertexto) ([http://httpd.apache.org/ABOUT\\_APACHE.html](http://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html)). En la Figura 17-2, se puede

observar la pantalla que se muestra cuando el servidor web apache se encuentra instalado y en funcionamiento.



**Figura 17-2:** Servidor http Apache

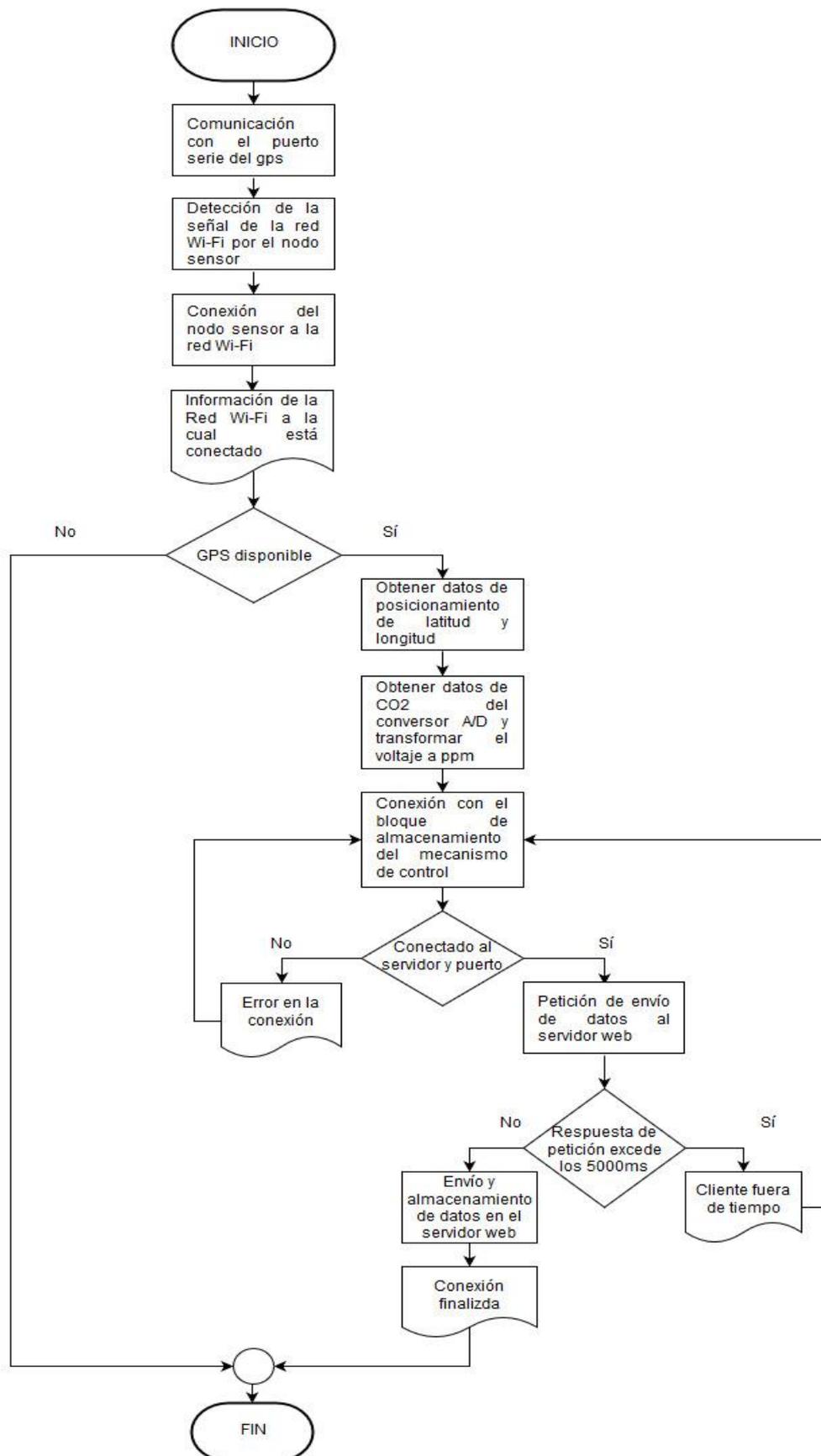
**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

## 2.4 Software de medición de dióxido de carbono

El diagrama de flujo del proceso de funcionamiento que desempeñan los mecanismos de control y de detección del prototipo de medición de CO<sub>2</sub> se indican en las Figuras 18-2 y 19-2 respectivamente. El software de monitorización entra en funcionamiento una vez que el bloque de alimentación de los mecanismos de detección y control proporcionan la energía para que la red WSN inicie la conexión entre los mecanismos.

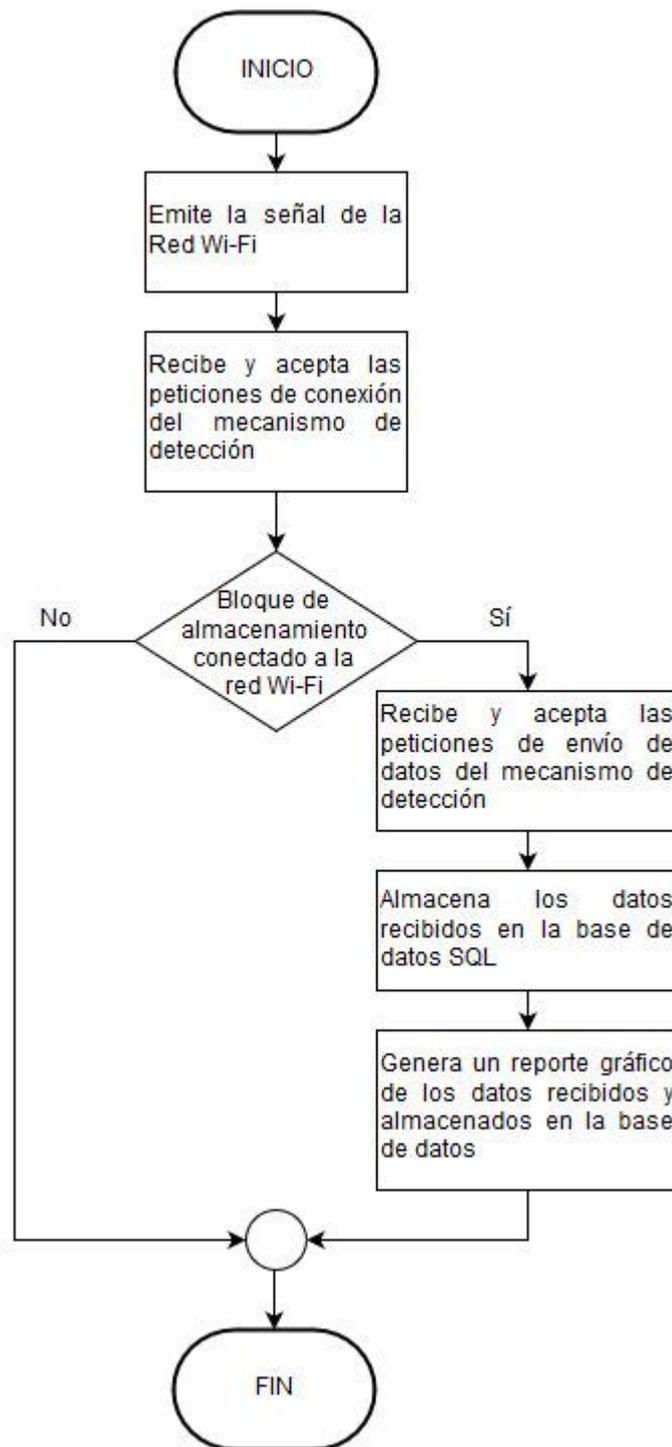
El mecanismo de control es el encargado de emitir la señal de la red Wi-Fi, de igual manera recibe y acepta las peticiones de conexión a la red realizadas por el mecanismo de detección; a su vez el bloque de almacenamiento inicia su funcionamiento cuando se conecta a la red, en donde recibe y acepta las peticiones de envío de datos del mecanismo de detección para su posterior almacenamiento en la base de datos SQL y generación del reporte gráfico.

Por otro lado, cuando el mecanismo de detección ejecuta su proceso de funcionamiento, se inicia la comunicación serie del GPS e inmediatamente detecta la señal de la red Wi-Fi para establecer la petición de conexión al mecanismo de control, una vez que se encuentra conectado a la red obtiene los datos de posicionamiento y de concentración de CO<sub>2</sub> en ppm y establece la conexión con el servidor para el envío de datos a través de la página web del servidor, finalizando de esta manera el proceso que cumple el mecanismo de detección.



**Figura 18-2:** Diagrama de Flujo del mecanismo de detección

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017



**Figura 19-2:** Diagrama de Flujo del mecanismo de control

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### 2.4.1 Librerías

En el desarrollo del software de monitorización de la red WSN se incluyen librerías y funciones que permiten cumplir con el proceso de funcionamiento que realizan los mecanismos que integran la red WSN de medición de dióxido de carbono. A continuación, se describen las librerías y funciones que se utilizan en cada uno de los mecanismos.

El mecanismo de detección incluye las siguientes librerías y funciones:

- Librería `#include <SoftwareSerial.h>` para la comunicación con los puertos serie creados.
- Librería `#include <TinyGPS.h>` permite obtener datos de localización a través del gps.
- Librería `#include <ESP8266WiFi.h>` para la conexión entre el módulo NodeMCU y la red Wi-Fi.
- Función `MGRead` para la lectura en voltios de los datos obtenidos por el sensor.
- Función `MQGetPercentage` para obtener el porcentaje de CO<sub>2</sub> en el ambiente.

Por otro lado, el mecanismo de control solamente utiliza la librería `#include <ESP8266WiFi.h>` para la comunicación Wi-Fi con la placa NodeMCU.

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO DE PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se detallan los resultados de las pruebas de funcionamiento realizadas en los dos ambientes de prueba seleccionados; así como también se especifican las pruebas de funcionamiento realizadas previo a la instalación del prototipo en los ambientes de prueba para verificar la precisión que tiene el prototipo de medición de dióxido de carbono. También se analizan las gráficas obtenidas de las mediciones realizadas durante los días de prueba.

#### 3.1 Pruebas de funcionamiento del prototipo

Luego de haber desarrollado el prototipo de medición de dióxido de carbono se procede a realizar las respectivas pruebas de funcionamiento para la validación del mismo; previo a la instalación del prototipo de red WSN en los dos ambientes de prueba seleccionados se tomaron mediciones de los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> directamente de una fuente emisora de dióxido de carbono.

De igual manera se realizaron mediciones variando la altura para seleccionar la altura adecuada de ubicación de los nodos sensores de la red. La fuente de emisión directa de CO<sub>2</sub> utilizada para las pruebas de funcionamiento es una bomba de agua a gasolina utilizada en las lubricadoras, la misma que se puede observar en la Figura 1-3.



**Figura 1-3:** Bomba de agua a gasolina

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Se consideró adecuado realizar las pruebas de funcionamiento en una lubricadora debido a la presencia de fuentes directas de emisión de dióxido de carbono, ya que a parte de las bombas de agua que se utilizan, existe la presencia continua de automotores que provocan un aumento en los niveles de concentración de dióxido de carbono.

Para determinar la precisión del prototipo de monitorización y validar el funcionamiento del mismo se realizaron cálculos en donde se toma en cuenta la media y el error absoluto debido a que los datos provienen de mediciones experimentales; los cálculos se realizaron con las fórmulas 6 y 7 (<https://www.fiscalab.com/apartado/errores-absoluto-relativos#contenidos>), en donde se toma en consideración un total de 43 muestras en un tiempo aproximado de 20 segundos según el resultado de las mediciones realizadas.

- MEDIA

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i \cdot f_i}{n} \quad (6)$$

donde:

$\bar{x}$  = Media de las mediciones

$x_i$  = Mediciones recogidas por el sensor

$f_i$  = Frecuencia de muestreo

$n$  = Total de muestras recogidas

La calidad y sensibilidad del prototipo de medición de dióxido de carbono se determinó específicamente al realizar el cálculo del error absoluto, ya que el resultado obtenido representa el error entre la medida real y el valor obtenido por los sensores, para realizar este cálculo se utilizó la fórmula 7.

- ERROR ABSOLUTO

$$E_a = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{x} - x_i|}{n} \quad (7)$$

Para obtener el error absoluto que tiene el prototipo de medición de CO<sub>2</sub> al variar la altura, se logró obtener una concentración aproximada de 700ppm; este valor se tomó en cuenta como medida de referencia ya que en la gráfica de la curva característica del sensor que se indica en el Anexo A se puede observar fácilmente que para una concentración de 700ppm se obtiene un voltaje de 310mV antes de la etapa de amplificación del módulo sensor.

La etapa de amplificación del módulo sensor MG811 está integrada por un amplificador LM393 que tiene una ganancia de salida de 8.5 que se indica en el Anexo B de configuración de los nodos sensores de la red; por lo tanto, según el voltaje de referencia de 310mV se logró comprobar que efectivamente la concentración obtenida representa aproximadamente los 700ppm.

En la Figura 2-3 se indica la ubicación del nodo sensor a una altura de 50cm y en la Tabla 1-3 se puede observar el error absoluto que tiene el prototipo a esta altura.

**Tabla 1-3:** Error absoluto a 50cm de altura

Voltaje (mV / V)	$x_i$ (Mediciones)	$f_i$ (Frecuencia)	$x_i \cdot f_i$	$\bar{x}$	$ \bar{x} - x_i $
314 / 2.67	701ppm	39	27339	701.0930233	0.0930233
314 / 2.67	702ppm	4	2808	701.0930233	0.9069767
<b>ERROR ABSOLUTO</b>					0.02

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017



**Figura 2-3:** Ubicación del nodo sensor a 50cm

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

Para determinar la altura máxima de ubicación de los nodos sensores de la red se realizaron varias pruebas, en donde se obtuvieron resultados relevantes con las alturas que se indican en las Tablas 2-3 y 3-3, para obtener estos resultados se instalaron los dos nodos sensores a la vez, de esta manera se pudo verificar la variación de precisión que tiene el prototipo de monitorización.

En la Tabla 2-3 se puede observar que para una altura de 150cm existe un error del 4%, mientras que al aumentar la altura en 50cm existe una variación del 1% en el error absoluto del prototipo

de medición de CO<sub>2</sub>. En la Figura 3-3 se indica la ubicación de los nodos sensores a 150 y 200cm de altura.



**Figura 3-3:** Ubicación de los nodos sensores a 150 y 200cm

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

**Tabla 2-3:** Error absoluto a 150cm de altura

Voltaje (mV / V)	$x_i$ (Mediciones)	$f_i$ (Frecuencia)	$x_i \cdot f_i$	$\bar{x}$	$ \bar{x} - x_i $
314 / 2.67	701ppm	15	10515	702.0232558	1.0232558
314 / 2.67	702ppm	12	8424	702.0232558	0.0232558
314 / 2.67	703ppm	16	11248	702.0232558	0.9767442
<b>ERROR ABSOLUTO</b>					0.04

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

En la Tabla 3-3 se indica el error absoluto que tiene el prototipo de medición de dióxido de carbono a una altura de 200cm, en donde el error resultante es de 0.05 lo que significa que la altura máxima permitida para que el prototipo tenga un 95% de confiabilidad es de 200cm.

**Tabla 3-3:** Error absoluto a 200cm de altura

<b>Voltaje (mV / V)</b>	<b><math>x_i</math> (Mediciones)</b>	<b><math>f_i</math> (Frecuencia)</b>	<b><math>x_i \cdot f_i</math></b>	<b><math>\bar{x}</math></b>	<b><math> \bar{x} - x_i </math></b>
314 / 2.67	701ppm	7	4907	702.2790698	1.2790698
314 / 2.67	702ppm	17	11934	702.2790698	0.2790698
314 / 2.67	703ppm	19	13357	702.2790698	0.7209302
<b>ERROR ABSOLUTO</b>					0.05

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

Una vez comprobado el funcionamiento del prototipo se procede a la instalación de la red WSN en el centro de la ciudad de Riobamba, en donde los ambientes seleccionados para realizar las pruebas de monitorización de concentración de CO<sub>2</sub> se consideraron en base al congestionamiento vehicular existente.

Además, los lugares seleccionados fueron recomendados por la Dirección de Gestión, Salubridad e Higiene; el Ambiente A de prueba es considerado el punto de menor congestionamiento vehicular y corresponde al GADM de Riobamba, mientras que el punto de mayor congestionamiento corresponde al Ambiente B del sector del Terminal Terrestre.

Las pruebas de funcionamiento del prototipo de medición de CO<sub>2</sub> en el centro de la ciudad de Riobamba se realizaron por un periodo de 6 días en dos etapas; cada etapa de prueba se la ejecutó por tres días consecutivos en los horarios de 8-10 AM, 12-14 PM y 17-19PM, considerados como las horas pico en la ciudad.

### **3.1.1 Ambiente A**

El Ambiente A de prueba corresponde al GADM de Riobamba, en donde se ejecutaron las pruebas de monitorización de los niveles de concentración de dióxido de carbono existentes en el lugar determinado por un periodo de tres días consecutivos. Las pruebas de funcionamiento se realizaron durante 6 horas diarias en los horarios establecidos anteriormente para un día normal de trabajo y durante el fin de semana con el fin de observar la variación de los niveles de CO<sub>2</sub>.

#### **3.1.1.1 Ubicación geográfica de la Red WSN**

La red WSN que se implementó en el Ambiente A de prueba se encuentra ubicada en las calles 5 de Junio y José Veloz; la ubicación geográfica del prototipo de red WSN del Ambiente A se indica en la Figura 4-3.



**Figura 4-3:** Ubicación geográfica del Ambiente A con Google maps

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

### 3.1.1.2 Instalación de los mecanismos de la red WSN

Para la instalación de los mecanismos de la red WSN en este ambiente se utilizó la infraestructura de la red Wi-Fi del GAD Municipal de Riobamba y debido a los requerimientos de la Dirección de Gestión de Tecnologías de la Información de la institución se instaló un solo nodo sensor, además fue necesario hacer uso de corriente continua para alimentar a los mecanismos de la red con cargadores adecuados, ya que al ser una institución pública el acceso los fines de semana es restringido.

El mecanismo de detección del prototipo de la Red WSN se instaló en el balcón del Salón José María Román tal como se indica en la Figura 5-3, mientras que el mecanismo de control tuvo una variación, ya que al utilizar la infraestructura Wi-Fi montada por la Dirección de Gestión de Tecnologías de la Información, el dispositivo del bloque de procesamiento fue reemplazado por un router Cisco.



**Figura 5-3:** Instalación del mecanismo de detección del Ambiente A

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

Cabe recalcar que, por disposición de las autoridades, el lugar de ubicación del mecanismo de detección fue en el balcón, por lo tanto, se sobrepasa el nivel máximo de altura permitido determinado anteriormente, lo que significa que al ubicarse a una altura aproximada de 3.5m el nivel de confiabilidad que tiene el prototipo disminuye en un 4%.

Por el contrario, el mecanismo de control integrado por el nuevo dispositivo del bloque de procesamiento se instaló en una caja metálica que se encuentra junto al balcón, esto por motivos de seguridad de los equipos. En la figura 6-3 se indica la instalación del mecanismo de control de la red WSN.



**Figura 6-3:** Instalación del mecanismo de control del Ambiente A

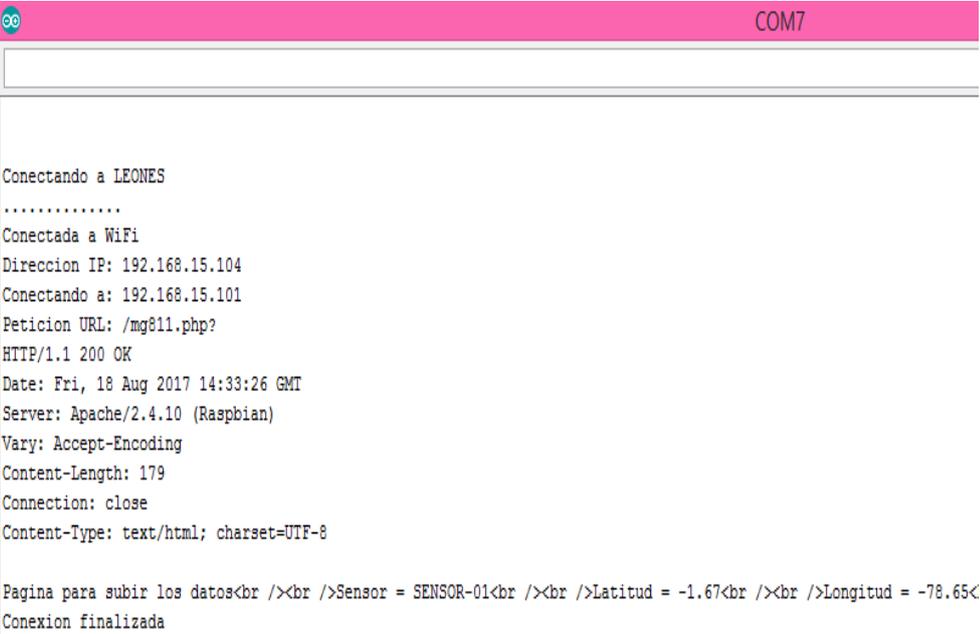
**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

### 3.1.1.3 Pruebas de conexión de la red WSN

Luego de haber instalado los mecanismos que integran la red WSN de monitorización de dióxido de carbono, se realizaron las pruebas de conexión para verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los bloques que integran los mecanismos de la red.

Una vez que el bloque de procesamiento del mecanismo de detección se conecta a la red se inicia la conexión, luego a su vez ejecuta una petición de conexión con el bloque de almacenamiento del mecanismo de control para el envío de los datos recogidos por el mecanismo de detección.

En la Figura 7-3 se indica las pruebas de conexión realizadas, así como también se puede observar la información de conexión tanto de la red como del servidor y la petición a la página del servidor web para subir los datos recibidos por el nodo sensor del mecanismo de detección.



```
COM7

Conectando a LEONES
.....
Conectada a WiFi
Direccion IP: 192.168.15.104
Conectando a: 192.168.15.101
Petición URL: /mg811.php?
HTTP/1.1 200 OK
Date: Fri, 18 Aug 2017 14:33:26 GMT
Server: Apache/2.4.10 (Raspbian)
Vary: Accept-Encoding
Content-Length: 179
Connection: close
Content-Type: text/html; charset=UTF-8

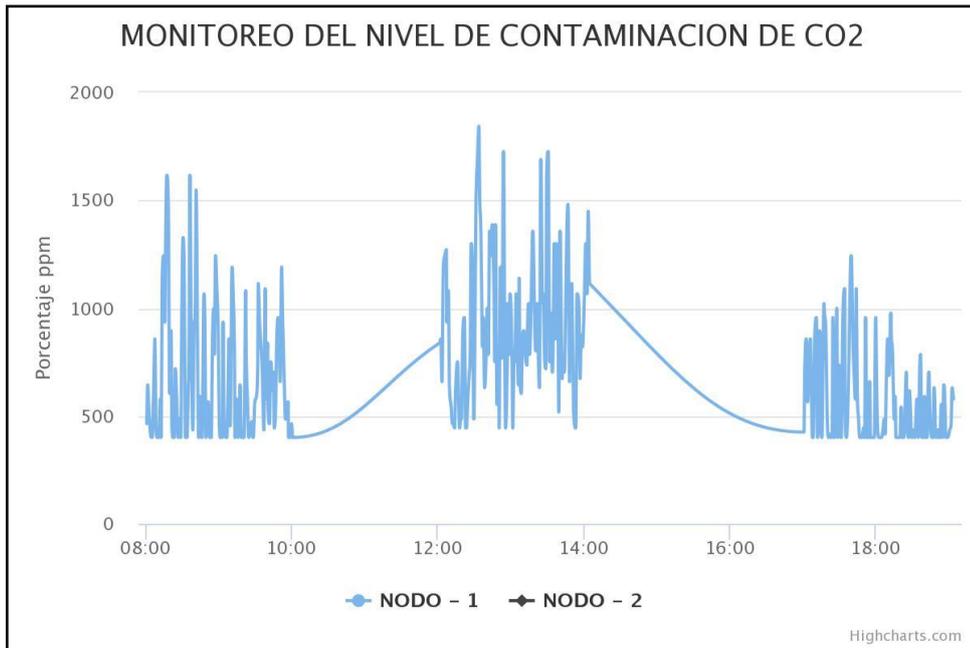
Pagina para subir los datos<br /><br />Sensor = SENSOR-01<br /><br />Latitud = -1.67<br /><br />Longitud = -78.65<br /><br />Conexion finalizada
```

**Figura 7-3:** Pruebas de conexión de la red WSN del Ambiente A

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

### 3.1.1.4 Análisis de gráficas

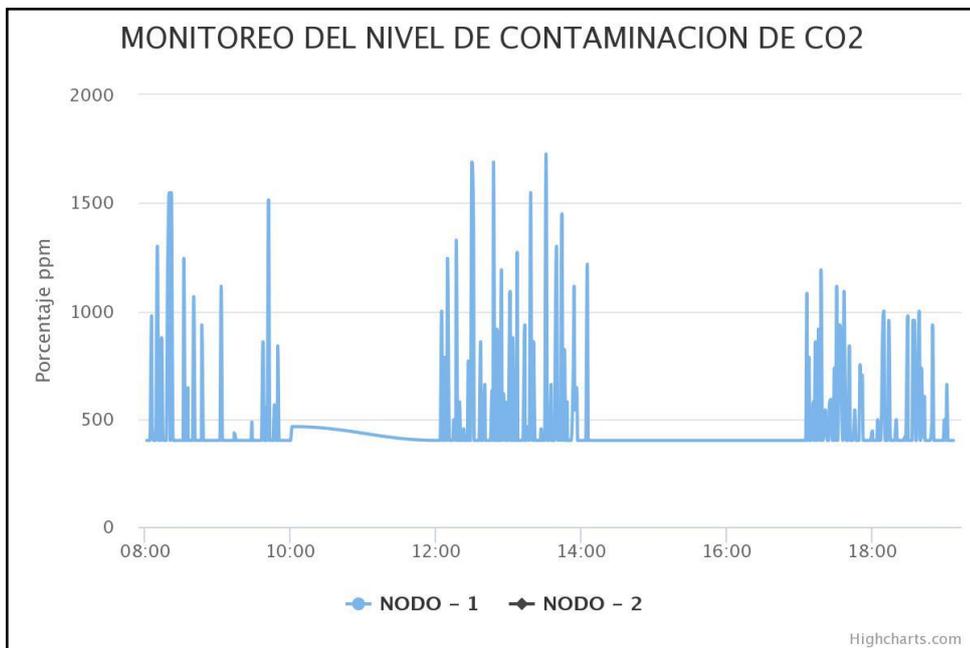
Una vez finalizada las pruebas de funcionamiento del prototipo de monitorización, con ayuda del bloque de visualización del mecanismo de control se pudo observar las gráficas de cada uno de los días en los que se realizaron las pruebas de funcionamiento. En los Gráficos 1-3, 2-3 y 3-3 se puede observar la variación de los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> registrados durante los tres días de prueba en los horarios establecidos.



**Gráfico 1-3:** Monitorización – Viernes, agosto 18 del 2017

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

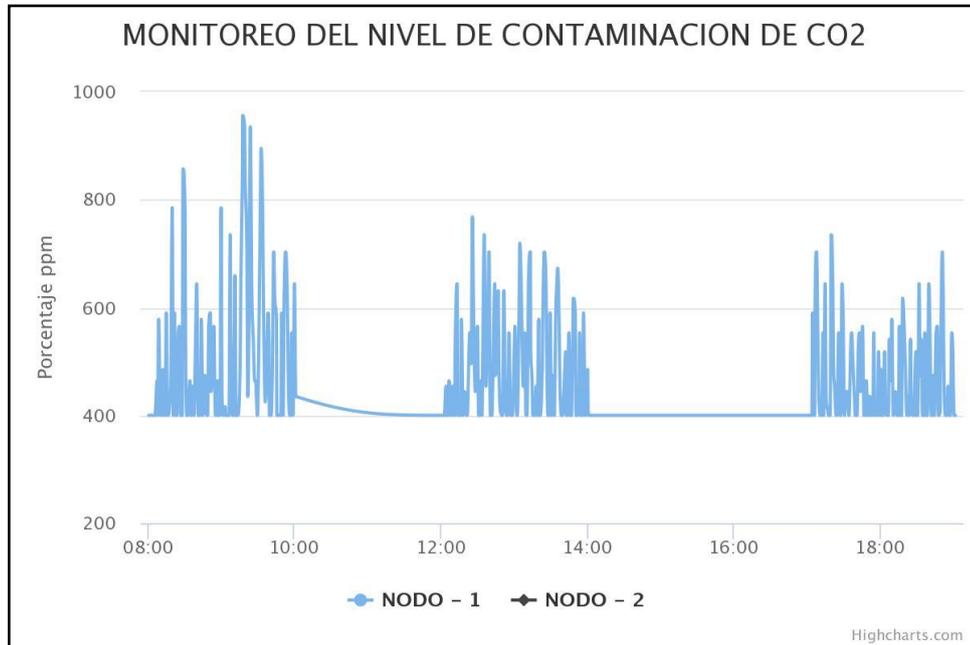
En el Grafico 1-3 se indican las variaciones de concentración de CO<sub>2</sub> registradas el día viernes, 18 de agosto del presente año, en donde el nivel más alto de concentración registrado en la mañana fue de 1616ppm, mientras que para la tarde el nivel de concentración aumentó a 1843ppm y en la noche disminuyó a 1243ppm.



**Gráfico 2-3:** Monitorización – Sábado, agosto 19 del 2017

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Las variaciones de concentración de CO<sub>2</sub> registradas el día sábado, 19 de agosto se indican en el Grafico 2-3, en este día se registró un valor de 1547ppm como la concentración más alta en la mañana, a su vez en la tarde se evidenció un aumento llegando a los 1726ppm y descendiendo por la noche a 1090ppm.



**Gráfico 3-3:** Monitorización – Domingo, agosto 20 del 2017

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

Por el contrario, en el día domingo, 20 de agosto se registraron niveles de concentración más bajos en comparación a los demás días ya que no existe la continua presencia de automotores, es así que para la mañana el nivel más alto de concentración de CO<sub>2</sub> fue de 956ppm, mientras que para la tarde y la noche se registró una disminución de 768ppm y de 735ppm respectivamente.

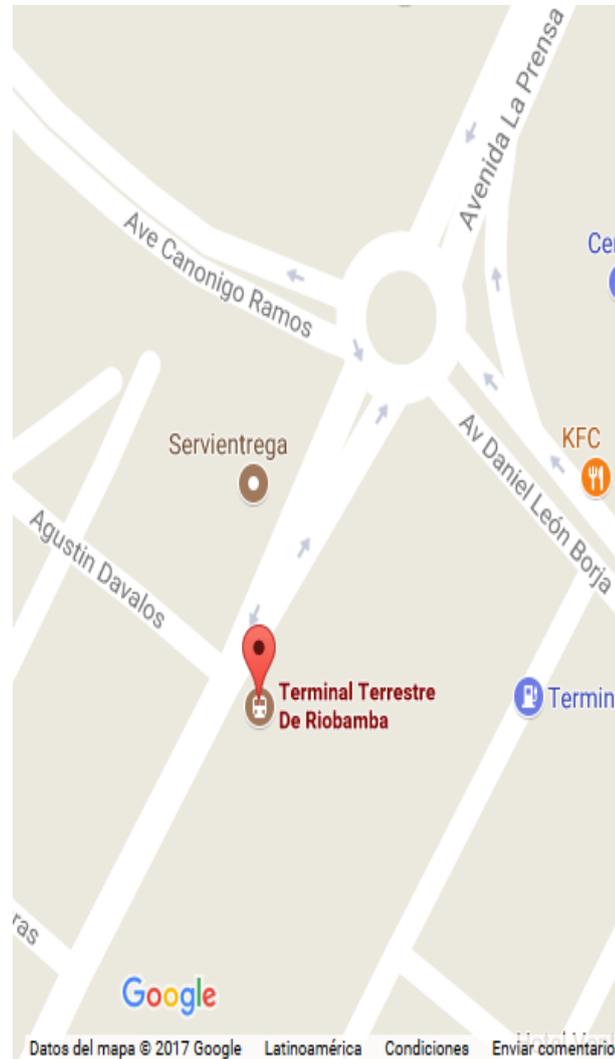
La medición realizada en un día normal de trabajo registra variaciones de concentración de CO<sub>2</sub> más altas en comparación a las variaciones registradas en el fin de semana, además el pico más alto de concentración de dióxido de carbono en este ambiente se registró en un día normal de trabajo ya que alrededor de este ambiente se encuentran varias instituciones, por lo tanto, existe la concurrencia de automotores especialmente en las horas de entrada y salida de las instituciones.

### 3.1.2 Ambiente B

El Ambiente B está localizado en la Av. La Prensa y Agustín Dávalos, Sector del Terminal Terrestre; las pruebas de funcionamiento de este ambiente se realizaron a la semana siguiente de haber realizado las pruebas de funcionamiento en el Ambiente A; al igual que en el Ambiente A se ejecutaron las pruebas en el mismo horario y días establecidos.

### 3.1.2.1 Ubicación geográfica de la Red WSN

La ubicación geográfica en donde se instaló la red WSN de monitorización de dióxido de carbono para el Ambiente B se puede observar en la Figura 8-3.



**Figura 8-3:** Ubicación geográfica del Ambiente B con Google maps

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

### 3.1.2.2 Instalación de los mecanismos de la Red WSN

En la Figura 9-3 se indica la instalación del mecanismo de detección integrado por los dos nodos sensores; el nodo 1 se ubicó a 150cm de altura, mientras que el nodo 2 se instaló a 200cm de altura, de esta forma se aseguró el 95% de confiabilidad del prototipo en base a los cálculos de precisión del prototipo realizados anteriormente.



**Figura 9-3:** Instalación del mecanismo de detección del Ambiente B

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

Por otro lado, el mecanismo de control se instaló aproximadamente a 40m de distancia del lugar de ubicación del mecanismo de detección, esta distancia se determinó en base a las pruebas del alcance de la señal realizadas previamente.

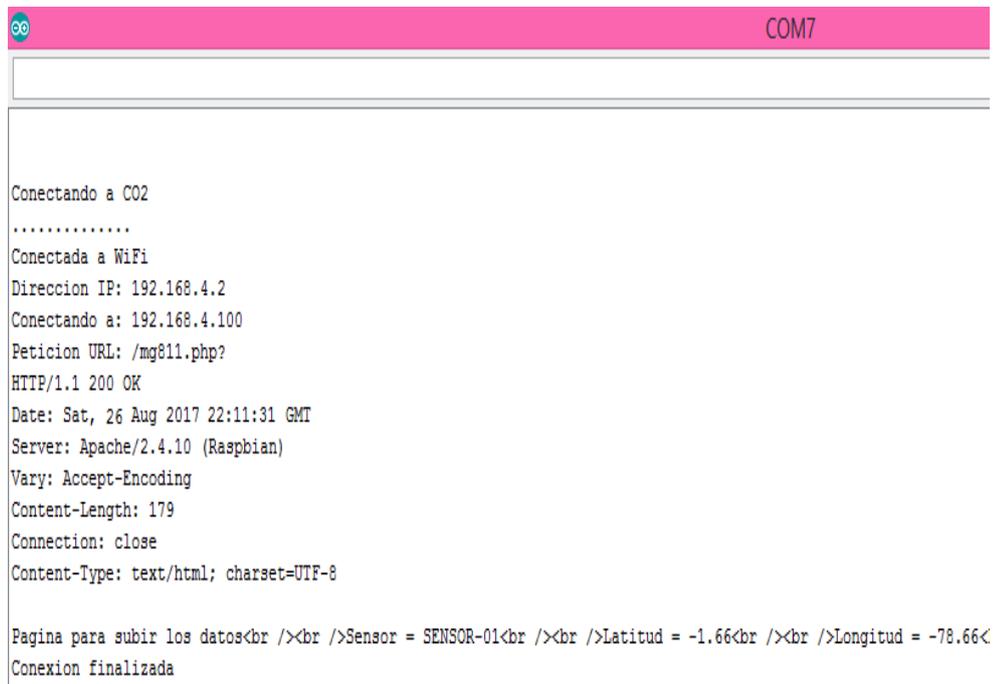


**Figura 10-3:** Instalación del mecanismo de control del Ambiente B

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

### 3.1.2.3 Pruebas de conexión de la red WSN

Las pruebas de conexión realizadas en este ambiente ejecutan el mismo proceso de funcionamiento detallado en el Ambiente A, pero difiere en que el mecanismo de detección está integrado por dos nodos sensores. En la Figura 11-3, se puede observar las pruebas de conexión realizadas para este ambiente.



```
COM7

Conectando a CO2
.....
Conectada a WiFi
Direccion IP: 192.168.4.2
Conectando a: 192.168.4.100
Peticion URL: /mg811.php?
HTTP/1.1 200 OK
Date: Sat, 26 Aug 2017 22:11:31 GMT
Server: Apache/2.4.10 (Raspbian)
Vary: Accept-Encoding
Content-Length: 179
Connection: close
Content-Type: text/html; charset=UTF-8

Pagina para subir los datos<br /><br />Sensor = SENSOR-01<br /><br />Latitud = -1.66<br /><br />Longitud = -78.66<br />
Conexion finalizada
```

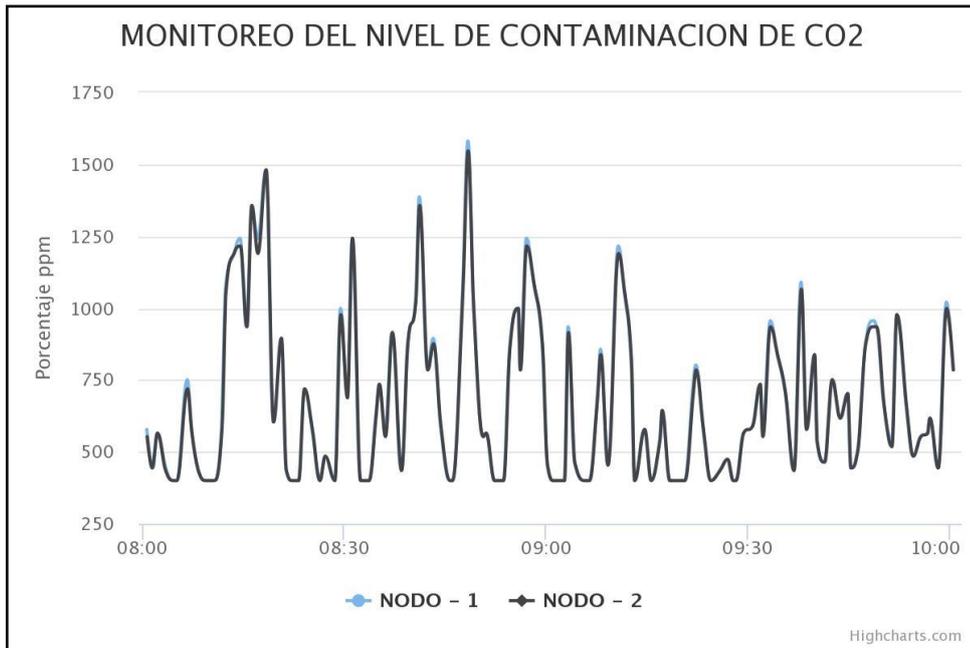
**Figura 11-3:** Pruebas de conexión de la red WSN del Ambiente B

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

### 3.1.2.4 Análisis de gráficas

Luego de realizar las pruebas de monitorización durante los tres días consecutivos, se analizaron las gráficas para determinar los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> más altos registrados durante los días de prueba. En los Gráficos 4-3, 5-3 y 6-3 se puede observar las variaciones de dióxido de carbono registrados el día Viernes, 25 de agosto del presente año.

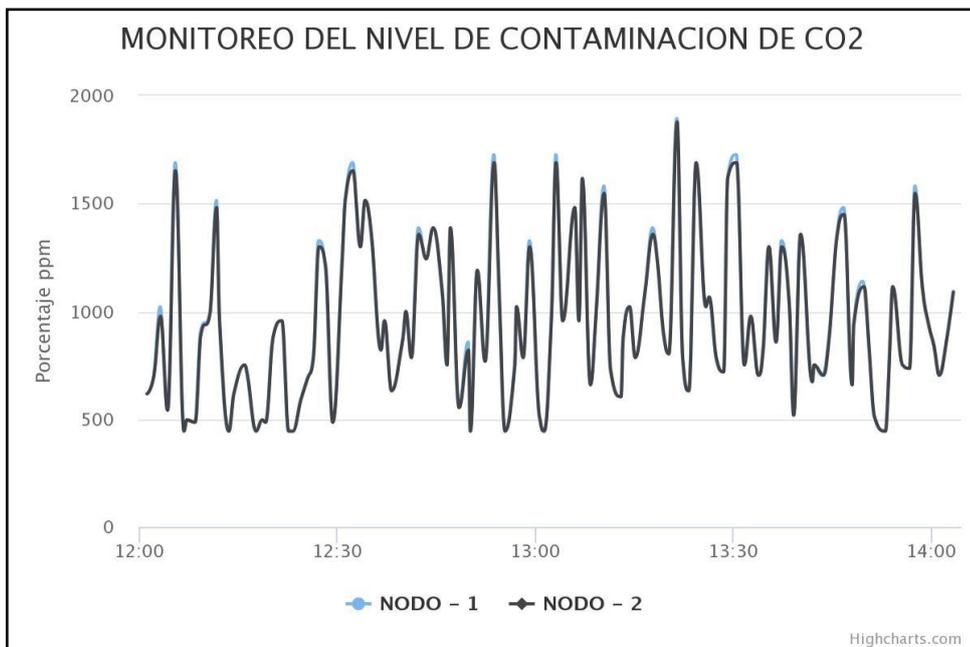
El pico más alto de concentración de dióxido de carbono registrado por el sensor 1 en la mañana fue de 1581ppm, mientras que existe una variación mínima en la medición realizada por el sensor 2, en donde el valor fue 1547ppm.



**Gráfico 4-3:** Monitorización – Viernes, agosto 25 del 2017 (08-10PM)

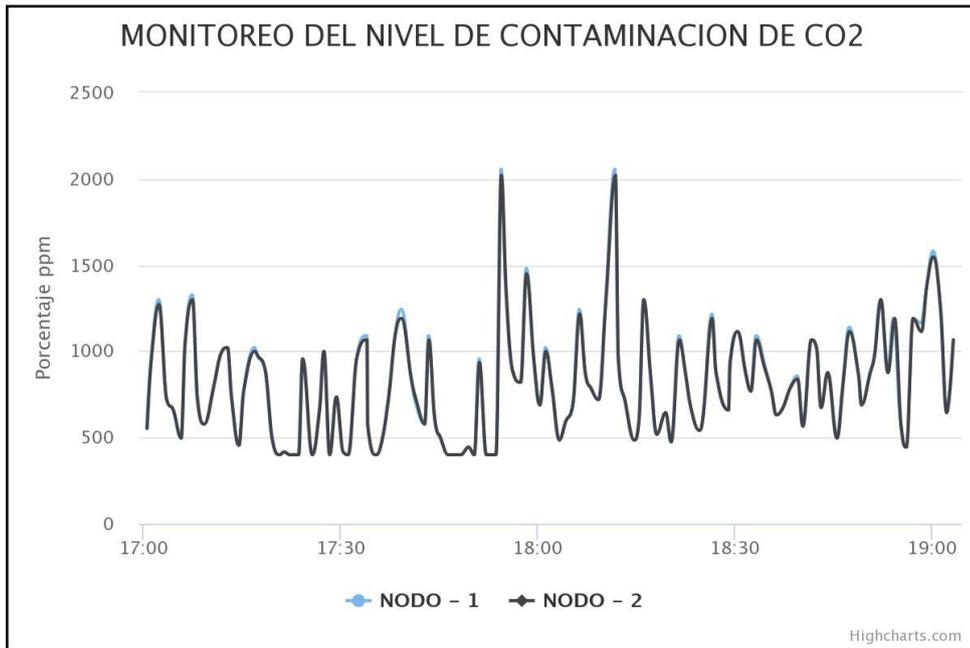
Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Los niveles de concentración de dióxido de carbono, en la tarde y noche de un día normal de trabajo en el Ambiente B se incrementaron; en la tarde los niveles que se alcanzaron fueron de 1894ppm y 1878ppm registrados por el nodo sensor 1 y el nodo sensor 2 respectivamente, mientras que en la noche el nodo sensor 1 detectó un nivel de 2055ppm y el valor registrado por el nodo sensor 2 fue de 2019ppm.



**Gráfico 5-3:** Monitorización – Viernes, agosto 25 del 2017 (12-14PM)

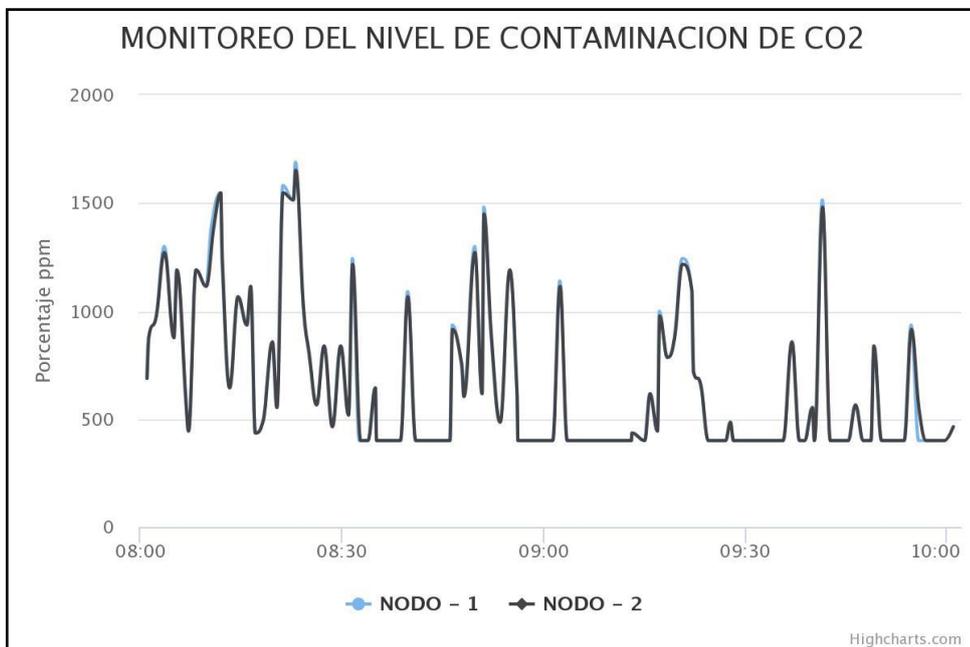
Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017



**Gráfico 6-3:** Monitorización – Viernes, agosto 25 del 2017 (17-19PM)

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

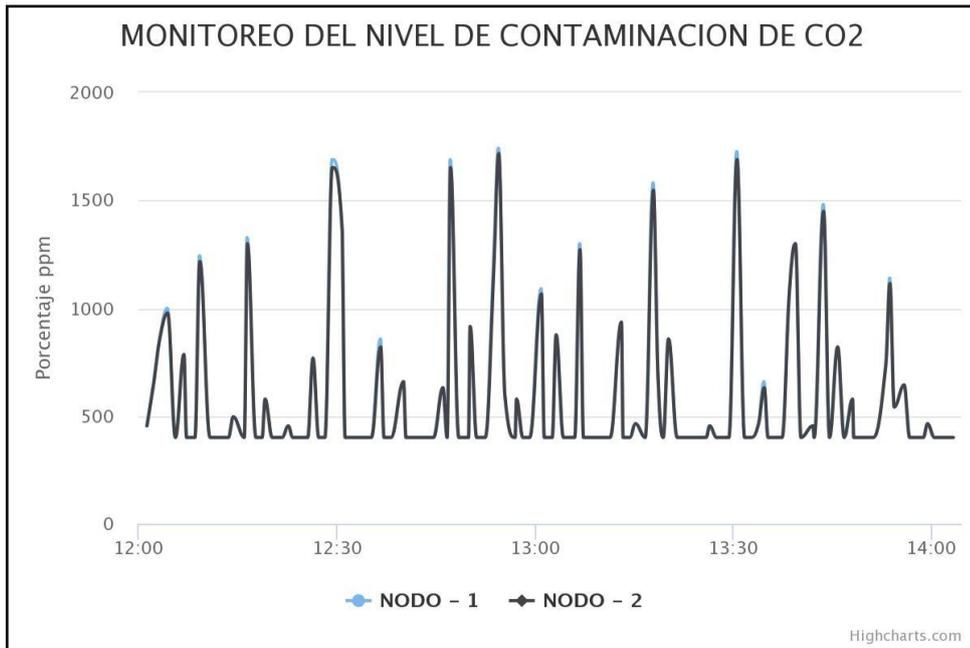
Las gráficas resultantes de la medición del nivel de concentración de dióxido de carbono realizado el día Sábado, 26 de agosto se puede observar en los Gráficos 7-3, 8-3 y 9-3, según los horarios establecidos.



**Gráfico 7-3:** Monitorización – Sábado, agosto 26 del 2017 (08-10AM)

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

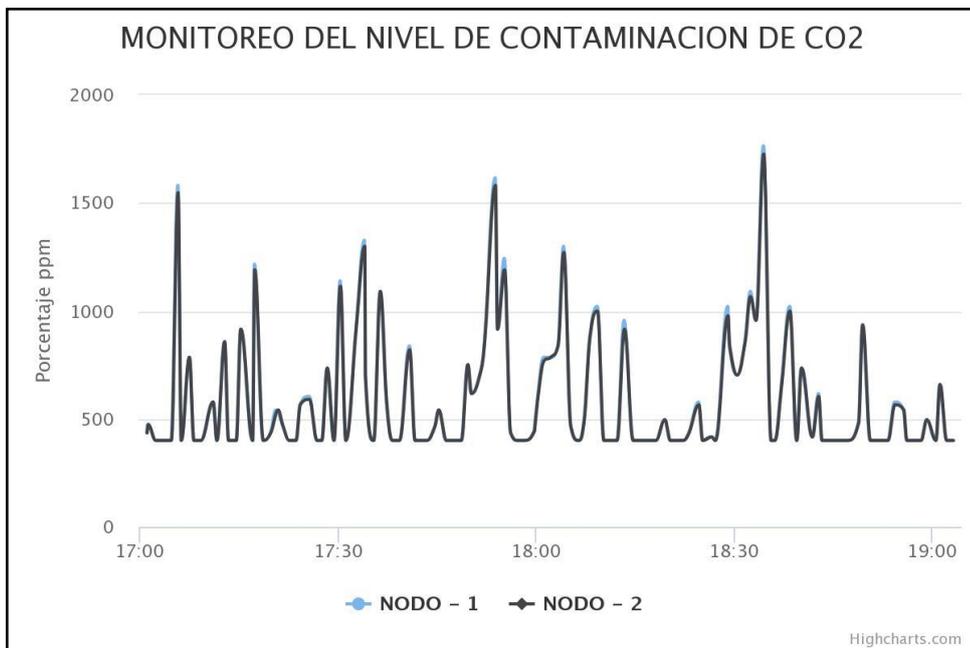
En la medición realizada, en la mañana del día sábado, el nodo sensor 1 detectó 1689ppm, mientras que el valor registrado por el nodo sensor 2 fue de 1652ppm.



**Gráfico 8-3:** Monitorización – Sábado, agosto 26 del 2017 (12-14PM)

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

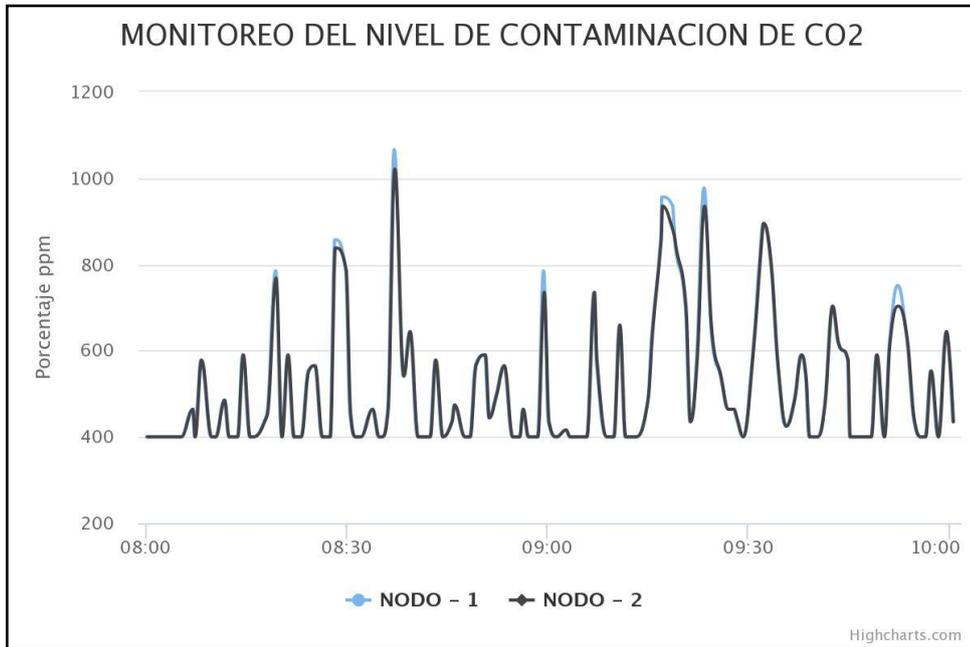
Por otro lado, al igual que el día viernes, se registró un aumento de concentración de dióxido de carbono; en la tarde el nivel máximo fue de 1742ppm y 1717ppm registrados por el sensor 1 y 2 respectivamente, mientras que en la noche se llegó a un nivel de 1764ppm registrado por el nodo sensor 1 y de 1726ppm registrado por el sensor 2.



**Gráfico 9-3:** Monitorización – Sábado, agosto 26 del 2017 (17-19PM)

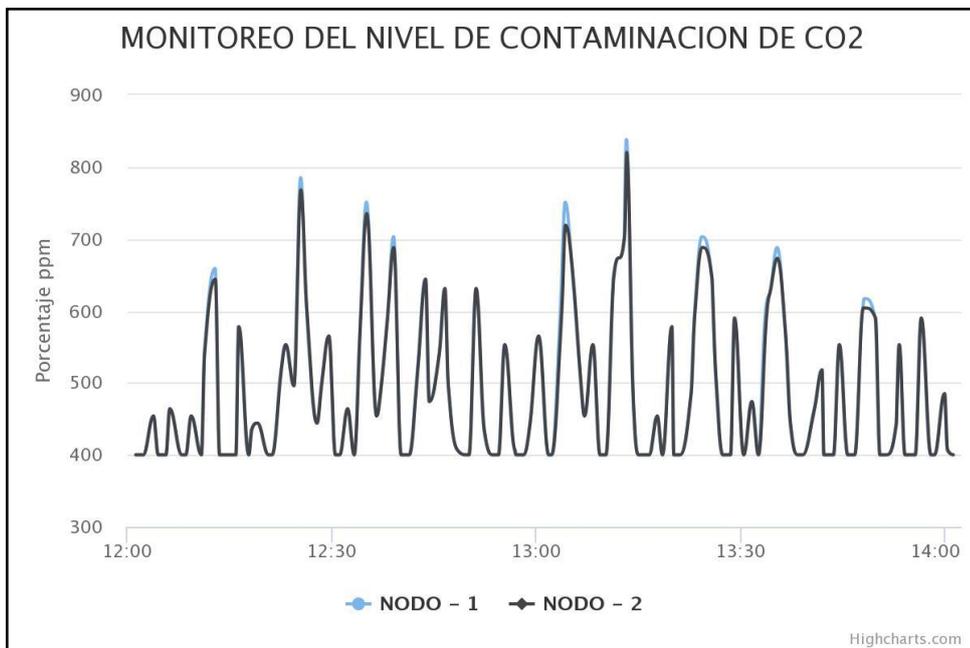
Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

El resultado del reporte gráfico generado en el último día de prueba se puede observar en los gráficos 10-3, 11-3 y 12-3, estos resultados corresponden al día domingo, 27 de agosto, en donde los niveles máximos alcanzados por el nodo sensor 1 y 2 en la mañana fueron de 1066ppm y de 1021ppm respectivamente.



**Gráfico 10-3:** Monitorización – Domingo, agosto 27 del 2017 (08-10AM)

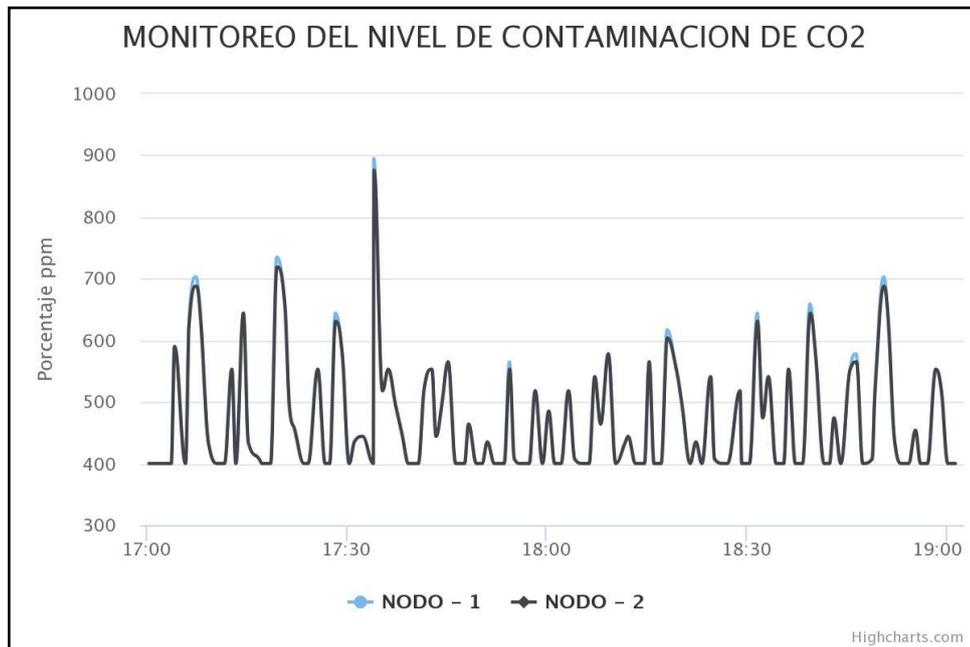
Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017



**Gráfico 11-3:** Monitorización – Domingo, agosto 27 del 2017 (12-14PM)

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Por la tarde y noche del día domingo, los niveles de concentración de dióxido de carbono disminuyeron a diferencia de los días anteriores; el resultado registrado en la tarde fue de 838 ppm y de 820ppm detectados por el sensor 1 y 2 respectivamente, mientras que en la noche el nodo sensor 1 registró un nivel de 895ppm y el valor del nodo sensor 2 fue de 876ppm.



**Gráfico 12-3:** Monitorización – Domingo, agosto 27 del 2017 (17-19PM)

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

En la medición realizada por los nodos sensores en el Ambiente B, se registró una diferencia mínima en las concentraciones medidas por cada sensor, además para este Ambiente, en los días viernes y sábado se registraron niveles de concentración más altos, en donde el pico más alto de dióxido de carbono se registró en un día normal de trabajo.

### 3.2 Histórico de la red WSN

Luego de haber realizado las pruebas de funcionamiento del prototipo y almacenado la información recibida en la base de datos, se creó un histórico con los datos más relevantes según el análisis de gráficas realizado de cada uno de los ambientes de prueba; el histórico consta de cada uno de los elementos de la estructura de las tablas de la base de datos generada, estos elementos se pueden observar en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Histórico de la base de datos

N°	Tiempo	Sensor	Latitud	Longitud	Voltios	Porcentaje
1	2017-08-18 08:17:05	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.54	1616
2	2017-08-18 12:33:24	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.52	1843
3	2017-08-18 17:39:12	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.58	1243
4	2017-08-19 08:19:35	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.54	1547
5	2017-08-19 13:30:24	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.53	1726
6	2017-08-19 17:36:18	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.6	1090
7	2017-08-20 08:13:16	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.62	956
8	2017-08-20 12:25:24	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.65	768
9	2017-08-20 17:19:29	SENSOR 1	-1.67	-78.65	2.66	735
10	2017-08-25 08:48:19	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.54	1581
11	2017-08-25 08:48:21	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.54	1547
12	2017-08-25 13:21:19	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.51	1894
13	2017-08-25 13:21:22	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.51	1878
14	2017-08-25 17:54:21	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.49	2055
15	2017-08-25 17:54:23	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.49	2019
16	2017-08-26 08:23:00	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.53	1689
17	2017-08-25 08:23:03	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.53	1652
18	2017-08-26 12:54:20	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.52	1742
19	2017-08-26 12:54:23	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.52	1717
20	2017-08-26 18:34:19	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.52	1764
21	2017-08-26 18:34:21	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.53	1726
22	2017-08-27 08:37:02	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.6	1066
23	2017-08-27 08:37:07	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.61	1021
24	2017-08-27 13:13:09	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.64	838
25	2017-08-27 13:13:12	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.64	820
26	2017-08-27 17:34:00	SENSOR 1	-1.66	-78.66	2.63	895
27	2017-08-27 17:34:02	SENSOR 2	-1.66	-78.66	2.63	876

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

Cabe recalcar que no se puede realizar un análisis de todos los datos recopilados en la base de datos, debido a que cada uno de los ambientes en donde se realizaron las pruebas tienen distintas condiciones, pero mediante la creación del histórico se pudo observar que efectivamente tanto el Ambiente A como el Ambiente B presentan niveles de concentración de CO<sub>2</sub> que no sobrepasan los niveles máximos tolerables de CO<sub>2</sub> (5000ppm) según la Tabla 8-1.

Además, el nivel más alto de concentración de CO<sub>2</sub> se registró en el Ambiente B del sector del Terminal Terrestre, este valor registrado se considera equivalente al nivel de concentración de

CO<sub>2</sub> permitido para el aire en oficinas con ventanas cerradas, por lo tanto, se determina que la contaminación existente aún no representa un riesgo grave para la salud de los habitantes de la ciudad de Riobamba.

### 3.3 Repetitividad en los datos del prototipo de red WSN

La repetitividad de los datos obtenidos por el prototipo de medición de dióxido de carbono se determinó al medir la concentración de CO<sub>2</sub> en las mismas condiciones durante un tiempo determinado, para esto se colocó el sensor en una caja sellada.

En este caso, se analizaron un total de 25 muestras con una frecuencia de muestreo de un minuto y con ayuda del Software estadístico R, se determinó que la repetitividad de los datos es del 0.83%, tal como se indica en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Repetitividad de datos

<b>Mediciones</b>	<b>Frecuencia de los datos</b>
405 ppm	10
407 ppm	2
411 ppm	1
412 ppm	12
<b>Media</b>	408.76
<b>Desviación Típica</b>	3.406856
<b>Coefficiente de variación (%)</b>	0.8334612

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

### 3.4 Estabilidad del prototipo de red WSN

Para determinar la estabilidad se utilizó la media, desviación típica y el coeficiente de variación; cabe recalcar que el coeficiente de variación es el que permite comparar la dispersión existente entre dos diferentes distribuciones.

En este caso, la estabilidad del prototipo se determinó en base a los datos históricos obtenidos por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y los datos recopilados por el prototipo de red WSN desarrollado; los gráficos de los datos históricos de la NOAA se pueden observar en el Anexo F.

Con ayuda del software estadístico R, se logró obtener el resultado de la variación de los datos de las dos distribuciones diferentes, en donde se comprobó que existe una variación aproximada del 1% tal como se indica en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Diferencia de variación entre dos distribuciones diferentes

<b>Datos Históricos</b>	<b>Datos del Prototipo de red WSN</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Coefficiente de variación (%)</b>
404.47	404	404.235	0.3323402	0.0822146
404.59	400	402.295	3.24562	0.8067762
404.65	400	402.325	3.288047	0.8172613
404.40	400	402.2	3.11127	0.7735629
404.65	407	405.825	1.661701	0.4094624
404.82	400	402.5	3.535534	0.8783935

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Una vez realizada la estabilidad del prototipo se comprobó que el porcentaje de variación resultante se encuentra dentro del rango permitido por el INEC (2013, pág.2), por tanto, se considera que el prototipo de red WSN para la monitorización del nivel de contaminación de CO<sub>2</sub> es estable.

### **3.4.1 Estabilidad considerando la altura de ubicación de los nodos**

La estabilidad del prototipo al variar la altura se determinó al obtener la diferencia de variación de los datos recogidos por el sensor uno y dos, en este caso se toma en cuenta el nivel de concentración de CO<sub>2</sub> en ppm detallado en el histórico generado, de igual manera que en el apartado anterior se utilizó el Software estadístico R para obtener los resultados que se indican en la Tabla 7-3.

**Tabla 7-3:** Diferencia de variación de los datos recogidos por los Sensores 1 y 2

<b>SENSOR 1</b>	<b>SENSOR 2</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Coefficiente de variación (%)</b>
1581	1547	1564	24.04163	1.537189
1894	1878	1886	11.31371	0.599879
2055	2019	2037	25.45584	1.249673
1689	1652	1670.5	26.16295	1.566175
1742	1717	1729.5	17.67767	1.022126
1764	1726	1745	26.87006	1.539831
1066	1021	1043.5	31.81981	3.049334
838	820	829	12.72792	1.535334
895	876	885.5	13.43503	1.517225

Realizado por: Gusqui Yessenia, 2017

Según los resultados obtenidos de la variación existente entre los datos recogidos por el un sensor respecto al otro, se determinó que la variación máxima de los datos es del 3%.

### 3.5 Análisis financiero del prototipo de red WSN

En el desarrollo del prototipo de medición de dióxido de carbono se utilizaron los componentes que se detallan en la Tabla 8-3, en donde se puede observar el número de componentes utilizados con su respectivo precio.

**Tabla 8-3:** Lista de dispositivos y precios

N.	Descripción	Cantidad	V. Unitario	V. Total
1	NodeMCU v3	3	10.00	30.00
2	Raspberry Pi 3	1	58.04	58.04
3	Sensor de dióxido de carbono	2	55.89	111.78
4	Gps UBlox	2	26.32	52.64
5	Batería Litio 1Ah	2	10.27	20.54
6	Batería Litio 3Ah	1	13.20	13.20
7	Elevador de Tensión	5	11.16	55.8
8	Batería Seca 6VDC	2	9.68	19.36
9	Cajas de protección	3	8.50	25.50
<b>SUBTOTAL</b>				386.86
<b>IVA 12%</b>				46.42
<b>TOTAL</b>				433.28

**Realizado por:** Gusqui Yessenia, 2017

El costo total del prototipo de medición de dióxido de carbono desarrollado es de 433.28 dólares, en donde el costo de inversión de cada uno de los nodos sensores de la red WSN es de 160.14 dólares incluyendo el IVA del 12%.

Además, se puede notar que las placas electrónicas NodeMCU tienen un valor muy económico en comparación con los demás dispositivos y representan el 6.92% del total invertido, mientras que los sensores utilizados representan el 25.8% y es considerado el gasto más significativo debido a que corresponde a la cuarta parte del total de la inversión.

## CONCLUSIONES

El prototipo de red WSN implementado cumple con los requerimientos necesarios para que la red sea segura, portable, de fácil configuración y sobre todo es escalable ya que permite la inserción de nodos configurables luego de que la red ya ha sido implementada, estas características son necesarias para el desarrollo de aplicaciones de monitorización de datos.

La tecnología seleccionada para el diseño del prototipo de red WSN según el análisis comparativo de tecnologías es Wi-Fi con el 80% de eficiencia total resultante; además al ser un prototipo destinado para instituciones gubernamentales, implementar el prototipo en base a la tecnología Wi-Fi es la mejor opción ya que existe una infraestructura de red Wi-Fi en diversos puntos de la ciudad de Riobamba.

El prototipo de medición de dióxido de carbono está integrado por un mecanismo de detección y un mecanismo de control, en donde los elementos que conforman cada uno de los mecanismos se seleccionaron en base a un análisis comparativo y según el nivel de eficiencia evaluado; cabe destacar que la mejor opción a utilizar como plataforma es NodeMCU con el 90% de eficiencia.

El nivel de confiabilidad del prototipo de medición de dióxido de carbono se determina al variar la altura de ubicación de los nodos sensores ya que existe un margen de error de 0,05 a una altura conveniente de 200cm, lo que significa que a esa altura el prototipo tiene un 95% de confiabilidad, con una variación en los datos del 3%.

Al evaluar el funcionamiento del prototipo de red WSN, se comprueba que el prototipo tiene una estabilidad aproximada del 1% con una repetitividad en los datos del 0.83%, por lo tanto, se considera que el prototipo desarrollado es estable y preciso.

Los datos recopilados por el prototipo de red WSN se visualizan a través de una aplicación web que genera un reporte gráfico en donde se indica las variaciones de concentración de CO<sub>2</sub> en función del tiempo, esta aplicación admite la descarga de los reportes gráficos para que las autoridades locales emitan informes luego de analizar la información.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar un calentamiento previo de los sensores antes de realizar las pruebas de funcionamiento, de esta manera se obtiene una mejor precisión en los datos recogidos, así como también es recomendable ejecutar pruebas previas en los ambientes en donde se vaya a instalar la red WSN.

Implementar mecanismos de seguridad en la red, debido a que puede ser víctima de ataques, de igual manera se sugiere integrar mecanismos de protección, ya que, dependiendo del lugar de ubicación del prototipo, puede verse afectado por la manipulación de personas ajenas.

Tomar en consideración que, el dispositivo seleccionado a implementarse como servidor debe salvaguardar la información recibida, por lo tanto, se aconseja que, en el caso de utilizar placas electrónicas, ésta cuente con un potente microprocesador.

Para que la red WSN se encuentre operativa todo el tiempo es necesario implementar mecanismos que permitan recargar las baterías, en este caso el uso de paneles solares se convierte en la mejor alternativa a ser utilizada.

Para trabajos futuros, se recomienda desarrollar un sistema de monitorización que detecte al mismo tiempo los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> en diferentes ambientes, ya que esto permite conocer las variaciones de los niveles de contaminación de un lugar respecto al otro.

## BIBLIOGRAFÍA

**ANDREU, Joaquín.** *Servicios en Red* [en línea]. Madrid-España: Editex, 2010. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=98\\_TAwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=servicios+en+red&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=servicios%20en%20red&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=98_TAwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=servicios+en+red&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=servicios%20en%20red&f=false)

*Arduino Software (IDE)* [en línea]. 07 septiembre 2015. [Consulta: 12 septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>

*Arduino Uno Rev3* [en línea]. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3#.UxOOLk2YZuH>

*Bienvenido a SQL* [en línea]. 19 abril 2016. [Citado el: 05 agosto 2017]. Disponible en: <https://es.khanacademy.org/computing/computer-programming/sql/sql-basics/v/welcome-to-sql>

**BLACK, Uyless.** *Redes Edición 2010*. Madrid-España: Ediciones Anaya Multimedia, 2010, p. 153

**CABEZAS GRANADO, Luis; & GONZÁLEZ LOZANO, Francisco.** *Redes inalámbricas*. Madrid-España: Ediciones Anaya Multimedia, 2010, pp. 46-296

**CASCO, Sergio.** *Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black Comparación y Aplicaciones* [en línea]. Paraguay-Asunción: 2014. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/MiniPCs.pdf>

*Contaminación del aire* [En línea]. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: [http://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/air\\_pollution/es/](http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/air_pollution/es/)

*Contaminación del aire en análisis* [en línea]. Quito-Ecuador: 08 octubre 2013. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: <https://lahora.com.ec/noticia/1101546982/contaminacion-del-aire-en-analisis>

**DARGIE, Walteneus; & POELLABAUER, Christian.** *Fundamentals of Wireless Sensor Networks*. Reino Unido: John Wiley & Sons, 2010, p. 10

*Definición de la calidad del aire y el CO2* [en línea]. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/definicion-calidad-aire-y-co2.htm>

**DEL VALLE, Luis.** *NodeMCU tutorial paso a paso desde cero* [blog]. 2017. [Consulta: 09 septiembre 2017]. Disponible en: [https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/#Acceso\\_a\\_los\\_pines\\_del\\_NodeMCU\\_V2](https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/#Acceso_a_los_pines_del_NodeMCU_V2)

**DELGADO, Héctor.** *Redes Inalámbricas*. Lima-Perú: Empresa Editora Macro, 2009, p. 18

**DOUKAS, Charalampos.** *Building Internet of Things with the Arduino* [en línea]. North Charleston-USA: 2012. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.buildinginternetofthings.com/wp-content/uploads/CHAPTER1.pdf>

*El promedio mundial de CO2 alcanza las 400 partes por millón en 2015* [en línea]. 24 octubre 2016. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-promedio-mundial-de-co2-alcanza-las-400-partes-por-mill%C3%B3n-en-2015>

*Errores Absolutos y Relativos* [en línea]. [Consulta: 05 septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.fiscalab.com/apartado/errores-absoluto-relativos#contenidos>

**FALUDI, Robert.** *Building Wireless Sensor Networks* [en línea]. USA: O'Reilly Media, 2011. [Consulta: 27 abril 2017]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=xMC69vQJLZIC&printsec=frontcover&dq=Building+Wireless+Sensor+Networks&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Building%20Wireless%20Sensor%20Networks&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=xMC69vQJLZIC&printsec=frontcover&dq=Building+Wireless+Sensor+Networks&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Building%20Wireless%20Sensor%20Networks&f=false)

**FERNÁNDEZ, Roberto; et al.** *Sapiens: Redes Inalámbricas de Sensores: teoría y aplicación práctica*. España: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, pp. 18-23

*Fuente elevador de voltaje* [en línea] [Consulta: 10 septiembre 2017]. Disponible en: <http://bigtronica.com/adaptadores-y-fuentes-de-voltaje/490-fuente-elevador-de-voltaje-5053212004903.html>

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL RIOBAMBA.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial* [en línea]. 2014. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0660000360001\\_DIAGN%C3%93STICO%20FINAL%20GADM%20RIOBAMBA\\_15-01-2015\\_10-30-06.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0660000360001_DIAGN%C3%93STICO%20FINAL%20GADM%20RIOBAMBA_15-01-2015_10-30-06.pdf)

**GRAMI, Ali.** *Introduction to Digital Communications* [en línea]. USA: Academic Press, 2016. [Consulta: 27 abril 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780124076822>

**HÄMÄLÄINEN, Matti; & MUCCHI, Lorenzo.** *Wireless UWB Body Area Networks* [en línea]. USA: Academic Press, 2014. [Consulta: 27 abril 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780128009314>

**HUIDROBO, José.** *Telecomunicaciones*. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U, 2011, p. 331

**HUIDROBO, José.** *Redes de sensores inalámbricos* [blog]. 22 octubre 2014. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <https://www.zonamovilidad.es/noticia/6731/reportajes/redes-de-sensores-inalambricos.html>

*Ibarra y Ambato son las ciudades con el aire más limpio en Ecuador, según la OMS* [en línea]. Quito-Ecuador: 07 mayo 2014. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ibarra-y-ambato-son-ciudades.html>

**Instituto Nacional de Estadística y Censos.** *Determinación de los coeficientes de variación estimado* [en línea]. 18 noviembre 2013. [Consulta: 26 septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjEvYaB1sPWAhVH7SYKH3SCR0QFgguMAE&url=http%3A%2F%2Fanda.in ec.gob.ec%2Fanda%2Findex.php%2Fcatalog%2F348%2Fdownload%2F5792&usq=AFQjCNE Nkz5q2ytOY-42g8h2OODvLhYF5Q>

**KENNEDY, Caitlyn.** *2014 State of the Climate: Carbon Dioxide* [en línea]. 15 julio 2015. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/2014-state-climate-carbon-dioxide>

*MG811 CO2 Sensor* [en línea]. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <http://www.winsensor.com/d/files/PDF/Solid%20Electrolyte%20CO2%20Sensor/MG811%20CO2%20Manual.pdf>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro* [en línea]. 2014. [Consulta: 04 enero 2017]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>

*Módulo GPS para Arduino UBlox NEO 6M* [en línea]. 2013. [Consulta: 09 septiembre 2017]. Disponible en: [http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product\\_id=73](http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product_id=73)

*MQ-135 GAS SENSOR* [en línea]. 11 junio 2014. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <http://www.dreamgreenhouse.com/datasheets/MQ-135/MQ-135.pdf>

**MUKHERJEE, Nandini; et al. Sapiens:** *Building Wireless Sensor Networks* [en línea]. Nueva York-USA: CRC Press, 2015. [Consulta: 27 abril 2017]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=NyjSCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Building+Wireless+Sensor+Networks&hl=es-419&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Building%20Wireless%20Sensor%20Networks&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=NyjSCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Building+Wireless+Sensor+Networks&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Building%20Wireless%20Sensor%20Networks&f=false)

*NodeMcu v2 - ESP8266* [en línea] [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <http://www.naylampmechatronics.com/inalambrico/153-nodemcu-esp8266.html>

*PHP: MySQL y acceso a una base de datos* [en línea]. 2012. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <http://idesweb.es/proyecto/proyecto-prac10-php-mysql-acceso-base-de-datos>

*Raspberry Pi 3 Model B* [en línea]. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/14ba/0900766b814ba5fd.pdf>

*Raspbian* [en línea]. 10 septiembre 2017. [Consulta: 12 septiembre 2017]. Disponible en: <https://distrowatch.com/table.php?distribution=raspbian>

*Recent Global CO2* [en línea]. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>

**REDA, Mustapha; & MELLOUK, Abdelhamid.** *Deploying Wireless Sensor Networks*. Reino Unido: ISTE Press, 2016, pp. 9-12

**SALVETTI, Diego.** *Redes Wireless*. Buenos Aires-Argentina: Fox Andina; Dálaga, 2011, pp. 21-30

*Seis urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS* [en línea]. Quito-Ecuador: 10 junio 2016. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>

**SOARES, Agnes.** *Guías de calidad del aire de la OMS* [en línea]. 14 enero 2014. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en: [http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/guia\\_calidad\\_aire\\_oms.pdf](http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/guia_calidad_aire_oms.pdf)

*TGS 4161 - for the detection of Carbon Dioxide* [en línea]. [Consulta: 19 abril 2017]. Disponible en: <https://cdn.sos.sk/productdata/62/d9/f2bb36a6/tgs-4161.pdf>

**TOULSON, Rob; & WILMSHURST, Tim.** *Fast and Effective Embedded Systems Desing* [en línea]. Reino Unido: Newnes, 2012. [Consulta: 27 abril 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780081008805>

*What is the Apache HTTP Server Project?* [en línea]. 2017. [Consulta: 12 septiembre 2017]. Disponible en: [http://httpd.apache.org/ABOUT\\_APACHE.html](http://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html)

# ANEXOS

## Anexo A

### Hoja de especificaciones técnicas del sensor MG811

Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd

[www.winsensor.com](http://www.winsensor.com)

# MG811 CO2 Sensor

## Features

- Good sensitivity and selectivity to CO<sub>2</sub>
- Low humidity and temperature dependency
- Long stability and reproducibility

## Application

- Air Quality Control
- Ferment Process Control
- Room Temperature CO<sub>2</sub> concentration Detection



## Structure and Testing Circuit

Sensor Structure and Testing Circuit as Figure, It composed by solid electrolyte layer C1, Gold electrodes C2, Platinum Lead C3, Heater C4, Porcelain Tube C5, 100m double-layer stainless steel net C6, Nickel and copper plated ring C7, Bakelite (8), Nickel and copper plated pin C9.

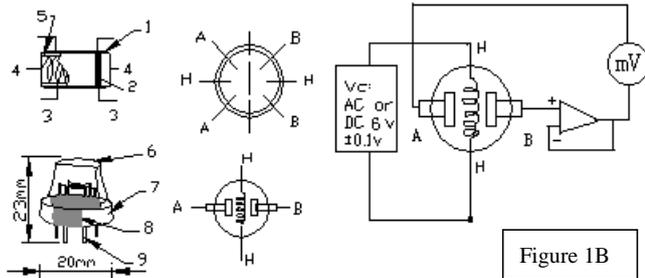


Figure 1A

Figure 1B

## Working Principle

Sensor adopt solid electrolyte cell Principle, It is composed by the following solid cells,

Air, Au|NASICON|| carbonate|Au, air, CO<sub>2</sub>  
When the sensor exposed to CO<sub>2</sub>, the following electrodes reaction occurs,

Cathodic reaction,  $2Li + CO_2 + 1/2O_2 + 2e^- = Li_2CO_3$

Anodic reaction,  $2Na + 1/2O_2 + 2e^- = Na_2O$

Overall chemical reaction,  $Li_2CO_3 + 2Na + = Na_2O + 2Li + CO_2$

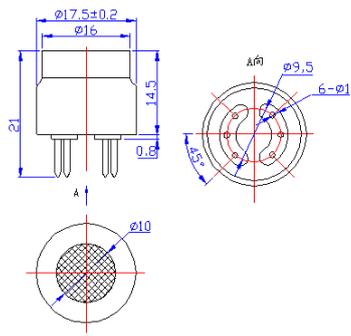
The Electromotive force (EMF) result from the above electrode reaction, accord with according to Nernst's equation,.,

$$EMF = E_c - (R \times T) / (2F) \ln (P(CO_2))$$

P(CO<sub>2</sub>)—CO<sub>2</sub> partial Pressure E<sub>c</sub>—Constant Volume R—Gas Constant volume

T— Absolute Temperature CK—Faraday constant

From Figure 1B, Sensor Heating voltage supplied from other circuit, When its surface temperature is high enough, the sensor equals to a cell, its two sides would output voltage signal, and its result accord with Nernst's equation. In sensor testing, the impedance of amplifier should be within 100—1000GΩ, Its testing current should be control below 1pA.



## Specifications ,,

Symbol	Parameter Name	Technical	Remarks
$V_H$	Heating Voltage	$6.0 \pm 0.1$ V	AC or DC
$R_H$	Heating Resistor	$30.0 \pm 5\%$ $\Omega$	Room Temperature
$I_H$	Heating Current	@200mA	
$P_H$	Heating Power	@1200mW	
$T_{ao}$	Operating Temperature	-20—50	
$T_{as}$	Storage Temperature	-20—70	
$\Delta E M F$	Output	30—50mV	350—10000ppmCO <sub>2</sub>

## Sensitivity ,,

Figure 2 Shows gas sensor sensitivity curve.

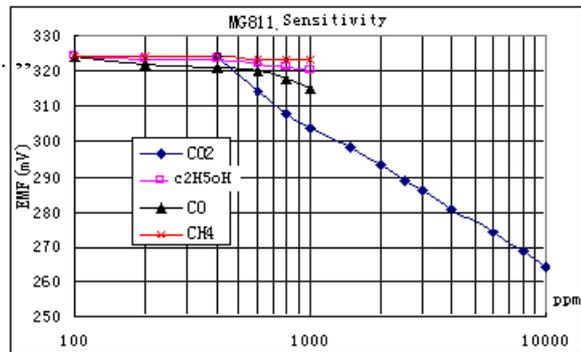
Conditions:

Tem ,,28°C.

RH,,65%.

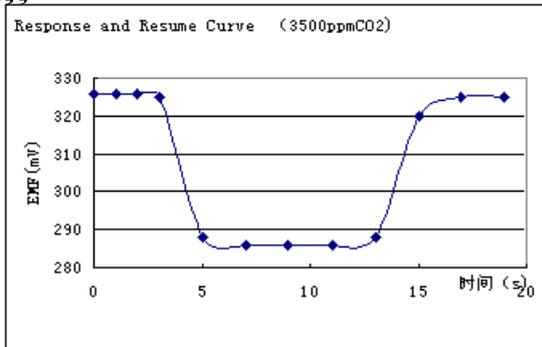
Oxygen ,,21%

EMF: sensor EMF under different gas and concentration .

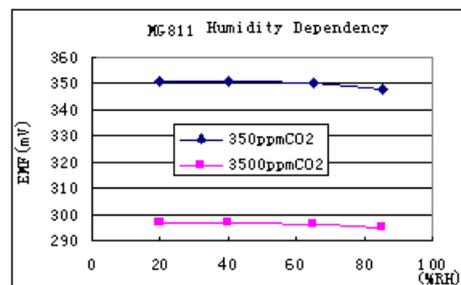
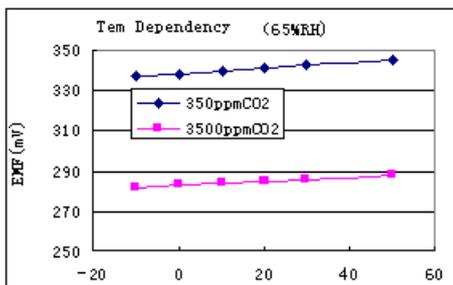


## Response and Resume Characteristic ,,

Figure 3 shows Solid electrolyte sensor response and resume characteristics.



## Temperature and Humidity Dependency ,,



## Anexo B

### Configuración del bloque de procesamiento del mecanismo de detección

```
/******NODO SENSOR 1 DEL MECANISMO DE DETECCIÓN******/

#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#define MG_Pin (A0)
#define V_Ref (3.3)
#define G_Amp (8.5)
#define No_Muestras (120)
#define T_Muestra (500)
#define Punto_inicial (2.602)
#define Punto_final (4.0)
#define Voltaje_inicial (0.324)
#define Voltaje_final (0.265)
TinyGPS gps;
SoftwareSerial ssgps(D6,D7);

/******Curva aproximada de la Concentración de CO2 en el Ambiente******/

float Caida_voltaje = Voltaje_inicial - Voltaje_final;
float CO2Curva[3] = {Punto_inicial, Voltaje_inicial, (Caida_voltaje / (Punto_inicial -
Punto_final))};

/******Función MGRead******/

float MGRead(int mg_pin) {
int i;
float v = 0;
for (i = 0; i < No_Muestras; i++)
{
v += analogRead(mg_pin);
delay(T_Muestra);
}
v = (v / No_Muestras) * (V_Ref / 968.0);
return v;}

/******Función MQGetPercentage******/

int MQGetPercentage(float voltios, float *punto) {
voltios = voltios / G_Amp;
if (voltios > Voltaje_inicial ) {
return 400;
} else {
return pow(10, ((voltios - punto[1]) / punto[2]) + punto[0]);
}}
}
```

```

const char* sensor = "SENSOR-01";
const char* ssid = "CO2";
const char* password = "mg811tesis";
const char* host = "192.168.4.100";
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  ssgps.begin(9600);
  delay(10);
  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.print("Conectando a ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("Conectada a WiFi ");
  Serial.print("Direccion IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}
void loop()
{
  float latitud, longitud;
  int porcentaje;
  float voltios;
  if(ssgps.available())
  {
    int g = ssgps.read();
    if(gps.encode(g))
    {
      gps.f_get_position(&latitud, &longitud);
      voltios = MGRead(MG_Pin);
      porcentaje = MGGetPercentage(voltios, CO2Curva);
      Serial.print("Conectando a: ");
      Serial.println(host);
      WiFiClient client;
      const int httpPort = 80;
      if (!client.connect(host, httpPort)) {
        Serial.println("Error en la conexion");
        return;
      }
      String url = "/mg811.php?";
      String dato1 = "&sensor=";

```

```

String dato2 = "&latitud=";
String dato3 = "&longitud=";
String dato4 = "&voltios=";
String dato5 = "&porcentaje=";
Serial.print("Peticion URL: ");
Serial.println(url);
client.print(String("GET ") + url + dato1 + sensor + dato2 + latitud + dato3 + longitud +
dato4 + voltios + dato5 + porcentaje+ " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + host + "\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n");
unsigned long timeout = millis();
while (client.available() == 0) {
if (millis() - timeout > 5000) {
    Serial.println(">>> Cliente Fuera de Tiempo!");
    client.stop();
    return;
}
}
while (client.available()) {
    String line = client.readStringUntil('\r');
    Serial.print(line);
}
Serial.println();
Serial.println("Conexion finalizada");
delay(3000);
}
}
}

```

/\*\*\*\*\*\*NODO SENSOR 2 DEL MECANISMO DE DETECCIÓN\*\*\*\*\*\*/

```

#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#define MG_Pin (A0)
#define V_Ref (3.3)
#define G_Amp (8.5)
#define No_Muestras (120)
#define T_Muestra (500)
#define Punto_inicial (2.602)
#define Punto_final (4.0)
#define Voltaje_inicial (0.324)
#define Voltaje_final (0.265)
TinyGPS gps;
SoftwareSerial ssgps(D6,D7);

```

/\*\*\*\*\*\*Curva aproximada de la Concentración de CO2 en el Ambiente\*\*\*\*\*\*/

```

float Caida_voltaje = Voltaje_inicial - Voltaje_final;
float CO2Curva[3] = {Punto_inicial, Voltaje_inicial, (Caida_voltaje / (Punto_inicial -
Punto_final))};

/*****Función MGRRead*****/

float MGRRead(int mg_pin) {
int i;
float v = 0;
for (i = 0; i < No_Muestras; i++)
{
v += analogRead(mg_pin);
delay(T_Muestra);
}
v = (v / No_Muestras) * (V_Ref / 968.0);
return v;}

/*****Función MQGetPercentage*****/

//Función MQGetPercentage para obtener el porcentaje de CO2 en el ambiente
int MQGetPercentage(float voltios, float *punto) {
voltios = voltios / G_Amp;
if (voltios > Voltaje_inicial ) {
return 400;
} else {
return pow(10, ((voltios - punto[1]) / punto[2]) + punto[0]);
}}
const char* sensor = "SENSOR-02";
const char* ssid = "CO2";
const char* password = "mg811tesis";
const char* host = "192.168.4.100";
void setup()
{
Serial.begin(115200);
ssgps.begin(9600);
delay(10);
Serial.println();
Serial.println();
Serial.print("Conectando a ");
Serial.println(ssid);
WiFi.mode(WIFI_STA);
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
delay(500);
Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.println("Conectada a WiFi ");

```

```

Serial.print("Direccion IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
}
void loop()
{
float latitud, longitud;
int porcentaje;
float voltios;
if(ssgps.available())
{
int g = ssgps.read();
if(gps.encode(g)
{
gps.f_get_position(&latitud, &longitud);
voltios = MGRead(MG_Pin);
porcentaje = MGGetPercentage(voltios, CO2Curva);
Serial.print("Conectando a: ");
Serial.println(host);
WiFiClient client;
const int httpPort = 80;
if (!client.connect(host, httpPort)) {
Serial.println("Error en la conexion");
return;
}
String url = "/smg811.php?";
String dato1 = "&sensor=";
String dato2 = "&latitud=";
String dato3 = "&longitud=";
String dato4 = "&voltios=";
String dato5 = "&porcentaje=";
Serial.print("Peticion URL: ");
Serial.println(url);
client.print(String("GET ") + url + dato1 + sensor + dato2 + latitud + dato3 + longitud +
dato4 + voltios + dato5 + porcentaje+ " HTTP/1.1\r\n" +
"Host: " + host + "\r\n" +
"Connection: close\r\n\r\n");
unsigned long timeout = millis();
while (client.available() == 0) {
if (millis() - timeout > 5000) {
Serial.println(">>> Cliente Fuera de Tiempo!");
client.stop();
return;
}
}
while (client.available()) {
String line = client.readStringUntil('\r');
Serial.print(line);
}
}
}

```

```

    }
    Serial.println();
    Serial.println("Conexion finalizada");
    delay(3000);
  }
}
}

```

## Anexo C

Configuración del bloque de procesamiento del mecanismo de control

```

/*****COORDINADOR DEL MECANISMO DE CONTROL*****/

#include <ESP8266WiFi.h>
const char *ssid = "CO2";
const char *password = "mg811tesis";
void setup() {
    delay(1000);
    Serial.begin(115200);
    Serial.println();
    Serial.print("Configurando access point...");
    WiFi.softAP(ssid, password);

    IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
    Serial.print("Dirección IP: ");
    Serial.println(myIP);
}
void loop() {
}

```

## Anexo D

Configuración en php de las páginas de subida de datos al servidor web

```

<?php
//Página de subida de datos del nodo sensor 1

// mg811.php
require("config.php");
$Sensor = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['sensor']);
$Latitud = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['latitud']);
$Longitud = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['longitud']);
$Voltios = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['voltios']);
$Porcentaje = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['porcentaje']);
$query = "INSERT INTO datos(Sensor, Latitud, Longitud, Voltios, Porcentaje)
VALUES('$Sensor','$Latitud','$Longitud','$Voltios','$Porcentaje')";
mysqli_query($con, $query);

```

```

mysqli_close($con);
echo "Pagina para subir los datos<br />";
echo "<br />Sensor = $Sensor<br />";
echo "<br />Latitud = $Latitud<br />";
echo "<br />Longitud = $Longitud<br />";
echo "<br />Voltios = $Voltios V<br />";
echo "<br />Porcentaje = $Porcentaje ppm<br />";
?>

```

```
<?php
```

```
//Página de subida de datos del nodo sensor 2
```

```
// smg811.php
```

```

require("config.php");
$Sensor = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['sensor']);
$Latitud = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['latitud']);
$Longitud = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['longitud']);
$Voltios = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['voltios']);
$Porcentaje = mysqli_real_escape_string($con, $_GET['porcentaje']);
$query = "INSERT INTO datos(Sensor, Latitud, Longitud, Voltios, Porcentaje)
VALUES('$Sensor','$Latitud','$Longitud','$Voltios','$Porcentaje')";
mysqli_query($con, $query);
mysqli_close($con);
echo "Pagina para subir los datos<br />";
echo "<br />Sensor = $Sensor<br />";
echo "<br />Latitud = $Latitud<br />";
echo "<br />Longitud = $Longitud<br />";
echo "<br />Voltios = $Voltios V<br />";
echo "<br />Porcentaje = $Porcentaje ppm<br />";
?>

```

## Anexo E

Configuración en php de la página de visualización del reporte gráfico

```
<?php
```

```

function conectarBD(){
    $server = "localhost";
    $usuario = "root";
    $pass = "raspberry";
    $BD = "MG811";
    $conexion = mysqli_connect($server, $usuario, $pass, $BD);
    if(!$conexion){
        echo 'Error en la base de datos<br>';
    }
    return $conexion;
}
function desconectarBD($conexion){

```

```

    $close = mysqli_close($conexion);
    if(!$close){
        echo 'Error en la base de datos <br>';
    }
    return $close;
}
function getArraySQL($sql){
    $conexion = conectarBD();
    if(!$result = mysqli_query($conexion, $sql)) die();
    $rawdata = array();
    $i=0;
    while($row = mysqli_fetch_array($result))
    {
        $rawdata[$i] = $row;
        $i++;
    }
    desconectarBD($conexion);
    return $rawdata;
}
$sql = "SELECT Porcentaje,Tiempo from valores;";
$rawdata = getArraySQL($sql);
$Nsql = "SELECT Porcentaje,Tiempo from datos;";
$data = getArraySQL($Nsql);
for($i=0;$i<count($rawdata);$i++){
    $Tiempo = $rawdata[$i]["Tiempo"];
    $date = new DateTime($Tiempo);
    $rawdata[$i]["Tiempo"]=$date->getTimestamp()*1000;
}
for($i=0;$i<count($data);$i++){
    $Time = $data[$i]["Tiempo"];
    $hora = new DateTime($Time);
    $data[$i]["Tiempo"]=$hora->getTimestamp()*1000;
}
?>
<HTML>
<BODY>
<meta charset="utf-8">
<script src="https://code.jquery.com/jquery.js"></script>
<script src="http://code.highcharts.com/stock/highstock.js"></script>
<script src="http://code.highcharts.com/modules/exporting.js"></script>
<div id="container">
</div>
<script type="text/javascript">
$(function () {
    $(document).ready(function() {
        Highcharts.setOptions({
            global: {

```

```

        useUTC: false
    }
});
var chart;
$('#container').highcharts({
    chart: {
        type: 'spline',
        animation: Highcharts.svg,
        marginRight: 10,
        events: {
            load: function() {
            }
        }
    },
    title: {
        text: 'MONITOREO DEL NIVEL DE CONTAMINACION DE CO2'
    },
    xAxis: {
        type: 'datetime',
    },
    yAxis: {
        title: {
            text: 'Porcentaje ppm'
        },
        plotLines: [{
            value: 0,
            width: 1,
            color: '#808080'
        }]
    },
    tooltip: {
        formatter: function() {
            return '<b>'+ this.series.name +'</b><br/>'+
                Highcharts.dateFormat('% Y-% m-% d % H:% M:% S', this.x) +'<br/>'+
                Highcharts.numberFormat(this.y, 2);
        }
    },
    legend: {
        enabled: true
    },
    exporting: {
        enabled: true
    },
    series: [{
        name: 'NODO - 1',
        data: (function() {
            var data = [];

```

```

<?php
    for($i = 0 ;$i<count($rawdata);$i++){
    ?>
    data.push([<?php echo $rawdata[$i]["Tiempo"];?>,<?php echo
$rawdata[$i]["Porcentaje"];?>]);
    <?php } ?>
return data;
})()
    },{
name: 'NODO - 2',
    data: (function() {
        var data = [];
        <?php
            for($i = 0 ;$i<count($data);$i++){
            ?>
            data.push([<?php echo $data[$i]["Tiempo"];?>,<?php echo
$data[$i]["Porcentaje"];?>]);
            <?php } ?>
        return data;
        })()
    }]
});
});
});
</script>
</html>

```

## Anexo F

Datos históricos registrados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

