



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del Título de
Ingeniería en Gestión Ambiental

Perfil del Proyecto de Investigación:

“Implementación de un sistema de monitoreo para detectar concentraciones de contaminantes atmosféricos en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos”

Autor:

Pilozo Jimenez Kerly Katuska

Docente Auspiciante:

Ing. Pedro Harrys Lozano Mendoza MSc.

Quevedo-Los Ríos- Ecuador

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo: **Pilozo Jimenez Kerly Katuska**, declaro que la información descrita en este trabajo de investigación es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

F.

Pilozo Jimenez Kerly Katuska
C.I. 125014341-7

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing. Pedro Harrys Lozano Mendoza MSc., Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante: Srta. Kerly Katuska Piloza Jimenez, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado *“Implementación de un sistema de monitoreo para detectar concentraciones de contaminantes atmosféricos en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos”*, previo a la obtención del título de Ingeniería en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Pedro Harrys Lozano Mendoza, MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO



Document Information

Analyzed document Tesis de sistema de monitoreo CO.pdf (D87559068)
Submitted 12/2/2020 3:40:00 PM
Submitted by
Submitter email plozano@uteq.edu.ec
Similarity 5%
Analysis address plozano.uteq@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W URL: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/CC52A/1/material_docente/bajar%253Fid_ma...
Fetched: 12/2/2020 8:47:00 PM  4

ING. PEDRO LOZANO MENDOZA. M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Implementación de un sistema de monitoreo para detectar concentraciones de contaminantes atmosféricos en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos”.

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
ING. CAROLINA TAY-HING CAJAS

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
ING. JULIO PAZMIÑO RODRÍGUEZ

MIEMBRO DEL TRIBUNAL
ING. MARIELA DÍAZ PONCE

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios antes todas las cosas por ser mi guía y fortaleza en cada paso de mi vida, por bendecirme con la familia que me rodea y darme esas fuerzas para seguir cumpliendo con mis anhelos, pero siempre encaminada por el mejor camino y con su bendición.

A mi madre Ruth Jimenez por ser el pilar fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional, sabiduría, amor y paciencia en cada instante de mi vida, gracias por cada esfuerzo tuyo puedo lograr esta meta y como también por siempre inculcarme buenos principios y valores que me servirán cada día.

A mis hermanos Dayana y Martin porque son las personas más sencillas donde siempre me han brindado su apoyo cuando más he necesitado.

Agradezco por formar una familia porque es el motivo para seguir a delante y lograr un futuro mejor, pero siempre con la bendición de Dios, a mi hijo Andrew por ser el mejor regalo de la vida porque es mi inspiración de cada día y mi fortaleza para luchar contra cualquier adversidad que se pueda presentar en el camino.

A mi grupo Despeinados por ser el mejor y siempre estar juntos en cada travesía, quienes han demostrado sus más sinceros sentimientos y su apoyo incondicional en todos los momentos como dejar de mencionar mis compañeros del paralelo “B” porque siempre se demostró ser un curso unido ante todas las cosas.

A mi tutor de tesis Ing. Harrys Lozano y a todos los docentes de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo que fueron parte de mi formación académica y que todos sus conocimientos brindados servirán para mi futuro profesional.

Kerly Piloza Jimenez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación en primer lugar a mi familia por ser el pilar fundamental en vida, porque son quienes me han inculcado principios y valores para ser una persona correcta y que todo lo que uno se proponga en la vida se lo puede lograr, pero siempre con la Bendición de Dios.

A mi madre Ruth por brindarme su amor y ser el motor en mi vida, donde es mi ejemplo a seguir por ser una mujer luchadora que nunca se da por vencida y gracias a su esfuerzo hoy puedo dar este paso.

A mi abuelo Martin quien estuvo en los momentos más difíciles de nuestra vida donde nos extendió sus manos para seguir continuando ahora sé que estas en un mejor lugar donde eres un ángel que nos cuida y que nos protege todos los días.

A mis hermanos Dayana y Martin que hemos estado juntos en las buenas y malas para poder salir a delante de cualquier adversidad que se nos presentó en el transcurso del camino.

A mi hijo Andrew porque llego en el momento indicado con quien aprendido y me ha dejado muchas enseñanzas como madre, donde es mi luz para seguir luchando y perseverando cada día, disfruto compartir cada ocurrencia y soy feliz tener a mi lado mi amor.

Y a todas las personas que estuvieron a lo largo del camino apoyándome y brindándome su amistad donde solo quedan esos lindos recuerdos en cada lugar compartidos.

Kerly Piloza Jimenez

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de esta investigación fue diseñar un sistema electrónico que permite detectar los niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM_{2.5}) en la Av. Guayaquil por un lapso de 2 meses, dónde se utilizaron sistemas embebidos que permitieron la recopilación de los datos, que luego fueron analizados con la Norma de Calidad del Aire o nivel de inmisión Libro VI anexo 4, en el cual determina los niveles de alerta de acuerdo al tipo de contaminante, se aplicó la ecuación de corrección de concentraciones para corregir el valor obtenido, tomando en cuenta las condiciones ambientales del área de estudio. El sensor MQ-7 fue empleado para detectar concentraciones de CO, es de tipo analógico y de fácil implementación con cualquier microcontrolador, cuenta con un calentador interno esto es para que los valores en la salida sean estables, en cambio el sensor PMS3003 su salida es de forma digital y los valores obtenidos los envió al host automáticamente en tiempo real. Toda la información obtenida por los sensores se almacenó en la base de datos InfluxDB, la cual se conecta con la aplicación web Grafana, que permitió mostrar la información por medio de gráficos, dónde se visualizaron las variaciones que hubo durante el tiempo de normalidad con el de confinamiento realizado por la pandemia. Como resultado final del análisis de los niveles de concentración de monóxido de carbono (CO), se obtuvo un valor máximo 49.28 ppm, sin embargo, en material particulado (PM_{2.5}) alcanzó un valor máximo de 5.35 ppm, cuyos resultados se encuentran dentro del rango permisible y no tienen afectaciones a la salud humana.

Palabras claves: monóxido de carbono, material particulado (PM_{2.5}), sensores, arduino, Raspberry Pi, series de tiempo, Grafana

ABSTRACT AND KEYWORDS

The objective of this research was to design an electronic system that allows detecting the concentration levels of carbon monoxide (CO) and particulate matter (PM_{2.5}) in Av. Guayaquil for a period of 2 months, where embedded systems were used that allowed the collection of data, which were then analyzed with the Air Quality Standard or level of immission Book VI annex 4, in which it determines the alert levels according to the type of pollutant, , the concentration correction equation was applied to correct the obtained value, taking into account the environmental conditions of the study area. The MQ-7 sensor was used to detect CO concentrations, it is analog and easy to implement with any microcontroller, it has an internal heater, this is so that the output values are stable, on the other hand, the PMS3003 sensor output is digitally and the values obtained were sent to the host automatically in real time. All the information obtained by the sensors was stored in the InfluxDB database, which is connected to the Grafana web application, which allowed the information to be displayed through graphics, where the variations that occurred during the normal time with the of confinement carried out by the pandemic. As a final result of the analysis of the concentration levels of carbon monoxide (CO), a maximum value of 49.28 ppm was obtained, however, in particulate matter (PM_{2.5}) it reached a maximum value of 5.35 ppm, whose results are within of the permissible range and do not affect human health.

Keywords: carbon monoxide, particulate matter (PM_{2.5}), sensors, arduino, Raspberry Pi, time series, Graphana

ÍNDICE

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN EJECUTIVO	viii
ABSTRACT AND KEYWORDS	ix
CÓDIGO DUBLIN	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Problematización	3
1.1.1. Planteamiento de problema	3
1.1.1.1. Diagnóstico	3
1.1.1.2. Pronóstico	3
1.1.2. Formulación del problema	4
1.1.3. Sistematización del problema	4
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
1.3. JUSTIFICACIÓN	6
CAPITULO II	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1. Marco conceptual	8
2.1.1. Contaminación atmosférica	8
2.1.1.1. Principales contaminantes atmosféricos	8
2.1.1.2. Contaminantes primarios	8
2.1.1.3. Contaminantes secundarios	10
2.1.2. Fuentes de emisión de contaminantes	10
2.1.3. Material particulado	11
2.1.3.1. Fuentes primarias de material particulado	11

2.1.3.2. Emisión fugitiva natural	11
2.1.3.3. Emisión fugitiva antropogénica	11
2.1.3.4. Fuentes fijas	11
2.1.3.5. Fuentes móviles	12
2.1.4. Efectos del material particulado	12
2.1.4.1. Efectos en el clima	12
2.1.4.2. Efectos en vegetales	12
2.1.4.3. Efectos en la visibilidad	12
2.1.5. Material particulado (PM _{2.5})	12
2.1.5.1. Importancia de las partículas (PM _{2.5})	13
2.1.5.2. Impactos en el ambiente	13
2.1.6. Monóxido de carbono (CO)	13
2.1.6.1. Fuentes de emisión de monóxido de carbono	14
2.1.6.2. Efectos por la contaminación causada por el monóxido de carbono (CO)	14
2.1.7. Tecnologías empleadas para la comunicación con los sistemas embebidos	14
2.1.7.1. Transmisión de datos	14
2.1.8. Medios de transmisión	15
2.1.8.1. Medios guiados	15
2.1.8.2. Medios no guiados	15
2.1.9. El protocolo del bus I ² C	15
2.1.9.1. Estados de bus I ² C	16
2.1.10. Lenguaje de programación	16
2.1.10.1. Lenguaje Python	16
2.1.10.2. Lenguaje C++	17
2.1.11. Base de datos (Database DB)	17
2.1.11.1. Integridad de los datos	17
2.1.11.2. Optimización de consultas relacionales	17
2.1.11.3. El compilador de consultas	18
2.1.12. Series de tiempo	18
2.1.13. InfluxDB	20
2.1.13.1. Motor de almacenamiento	20
2.1.14. Grafana	20
2.1.14.1. Ecosistema de Grafana	21
2.1.14.2. Grafana en el campo de monitorización	21
2.1.15. Señales analógicas y digitales	22
2.1.15.1. Señales analógicas	22

2.1.15.2. Señales digitales.....	22
2.1.16. Muestreo y retención.....	22
2.1.17. Sistemas embebidos.....	23
2.1.17.1. Raspberry Pi.....	23
2.1.17.2. Arduino Mega.....	23
2.1.18. Sensores.....	23
2.1.18.1. Sensor PMS3003.....	23
2.1.18.1.1. Funcionamiento.....	24
2.1.18.1.2. Resultados de la salida del sensor.....	24
2.1.18.2. Sensor MQ-7.....	24
2.1.18.2.1. Características.....	25
2.2. Marco Referencial.....	26
2.2.1. Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire.....	26
2.2.2. Plataformas tecnológicas aplicadas al monitoreo climático.....	26
2.2.3. Sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de internet de las cosas.....	27
2.2.4. Implementación de un sistema aéreo de medición y almacenamiento de parámetros meteorológicos georreferenciados para zonas pequeñas.....	27
2.3. Marco Legal.....	28
2.3.1. Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión Libro VI anexo 4 (Tulsma). 28	
2.3.1.1. Niveles de alertas para contaminantes de tipo criterio.....	28
CAPÍTULO III.....	30
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
3.1. Localización.....	31
3.2. Condiciones ambientales.....	32
3.2.1. Altitud.....	32
3.2.2. Temperatura.....	32
3.2.3. Precipitación.....	32
3.2.4. Suelo.....	33
3.3. Materiales y equipos.....	33
3.3.1. Hardware.....	33
3.3.2. Software.....	34
3.4. Métodos de investigación.....	34
3.4.1. Método de observación.....	34
3.4.2. Método analítico – sintético.....	34
3.4.3. Método inductivo.....	34

3.5. Tipo de investigación.....	35
3.5.1. Investigación diagnóstica	35
3.5.2. Investigación documental.....	35
3.6. Diseño de la investigación	35
3.6.1. Diseñar el sistema electrónico que permita el monitoreo de contaminantes atmosféricos.....	35
3.6.1.1. Identificación de sistema	35
3.6.1.1.1. Embebidos	35
3.6.1.2. Mecanismo	36
3.6.1.3. Diseñar el sistema	37
3.6.1.4. Validación del sistema	37
3.6.1.4.1. Estabilidad del dispositivo	37
3.6.1.4.2. Comparación con otro dispositivo	38
3.6.1.5. Instalación del sistema.....	40
3.6.1.5.1. Conexión del sensor al Arduino	40
3.6.1.5.2. Conexiones del arduino a la Raspberry Pi	40
3.6.2. Desarrollar una aplicación web basada en IoT que muestre información de las concentraciones de contaminantes obtenidas por la red de sensores	42
3.6.3. Analizar los datos obtenidos de las concentraciones de material particulado (PM _{2,5}) y monóxido de carbono emitidos en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo	42
3.7. Tratamientos de datos	43
CAPÍTULO IV	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1. Resultados de la investigación	45
4.1.1. Diseño del sistema electrónico que permita el monitoreo de contaminantes atmosféricos	45
4.1.1.1. Desarrollo del dispositivo electrónico mediante capa de procesos	45
4.1.1.1.1. Capa física	45
4.1.1.1.2. Capa de proceso	46
4.1.1.1.3. Capa de aplicación	47
4.1.1.2. Base de datos.....	47
4.1.1.2.1. Instalación de InfluxDB	48
4.1.1.3. Implementación del sistema electrónico.....	48
4.1.1.3.1. Conexión a la Raspberry Pi.....	48
4.1.1.3.2. Conexión del sensor MQ-7	49
4.1.1.3.3. Conexión del sensor PMS3003	49
4.1.1.4. Programación del arduino	50

4.1.1.5. Programación de Raspberry Pi	52
4.1.1.6. Sistema electrónico completo	54
4.1.2. Modificar una aplicación web basado en IoT	56
4.1.2.1. Cambio de icono de la aplicación Grafana	56
4.1.2.2. Creación de Token y paneles	57
4.1.2.2.1. Creación de tableros	57
4.1.2.2.2. Guardar datos	58
4.1.2.3. Autenticación básica	58
4.1.2.3.1. API de Grafana	59
4.1.2.4.1. Data sources	59
4.1.2.4.2. Creación Dashboards.....	60
4.1.2.4.3. Usuarios	62
4.1.3. Análisis de los datos obtenidos de las concentraciones de contaminantes de tipo criterio ⁶³	
4.1.3.1. Interpretación de los datos de monóxido de carbono (CO)	63
4.1.3.2. Interpretación de los datos de material particulado (PM _{2.5})	67
4.2. Discusión de resultados	74
CAPÍTULO V.....	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
5.1. Conclusiones	79
5.2. Recomendaciones	80
CAPÍTULO VI.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	81
CAPITULO VII.....	87
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Recursos de Hardware utilizados en la Investigación.....	33
Tabla 2 Recursos de software	34
Tabla 3 Diferentes sistemas embebidos	36
Tabla 4 Tipos de sensores	36
Tabla 5 concentraciones de contaminantes que definen los niveles de alerta, alarma y de emergencia en la calidad del aire en base al acuerdo tabla 1, del anexo 4 del libro VI acuerdo ministerial 097-A del 4 de noviembre del 2015 edición especial N.º 387	43
Tabla 6 Validación de sistema	55
Tabla 7 Análisis de monóxido de carbono	71
Tabla 8 Análisis de material particulado (PM _{2.5}).....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de consulta SQL	19
Figura 2 Comunicación de aplicación web con una base de datos	21
Figura 3 Circuito de muestreo y su comportamiento	22
Figura 4 Sensor de monóxido de carbono	25
Figura 5 Vista del sensor MQ-7	25
Figura 6 Localización del área de estudio	31
Figura 7 Esquema del diseño del sistema	37
Figura 8 Comprobación del funcionamiento del sistema	38
Figura 9 Dispositivos electrónicos para la medición de contaminantes atmosféricos	39
Figura 10 Comprobación con los dos dispositivos	39
Figura 11 Conexión del arduino con los sensores	40
Figura 12 Conexión de Raspberry Pi con arduino.....	41
Figura 13 Todas las conexiones del sistema.....	46
Figura 14 Proceso de almacenamiento y salida de datos	46
Figura 15 Sistema de procesamiento.....	47
Figura 16 Conexión de la Raspberry Pi.....	49
Figura 17 Conexión del sensor con el arduino	49
Figura 18 Conexión del sensor PMS3003 con el arduino	50
Figura 19 Sistema electrónico basado en sistemas embebidos	55
Figura 20 Validación del sistema	56
Figura 21 Pantalla principal de FileZilla.....	57
Figura 22 Configuración de Data sources	60
Figura 23 Dashboards.....	60
Figura 24 Agregar add new panel.....	61
Figura 25 Edición de panel.....	61
Figura 26 Configuración del panel.....	62
Figura 27 Opción para usuarios.....	62
Figura 28 Niveles de contaminación de CO en un mes.....	63
Figura 29 Niveles de CO en 24 horas	64
Figura 30 Niveles de CO en una semana	65
Figura 31 Niveles de CO en un mes	65
Figura 32 Niveles de CO en 24 horas	66
Figura 33 Niveles de CO en una semana	67
Figura 34 Niveles de PM _{2.5} durante un mes.....	68
Figura 35 Niveles de PM _{2.5} en 24 horas.....	68
Figura 36 Niveles de PM _{2.5} durante una semana.....	69
Figura 37 Niveles de PM _{2.5} durante un mes.....	69
Figura 38 Niveles de PM _{2.5} durante 24 horas	70
Figura 39 Niveles de PM _{2.5} durante una semana.....	71
Figura 40 Diagrama de caja para los niveles de monóxido de carbono	71
Figura 41 Histograma de los niveles de monóxido de carbono	72
Figura 42 Diagrama de caja para los niveles de material particulado (PM _{2.5})	73
Figura 43 Histograma de los niveles de material particulado (PM _{2.5}).....	73

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“Implementación de un sistema de monitoreo para detectar concentraciones de contaminantes atmosféricos en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos”			
Autor:	Kerly Piloza Jimenez			
Palabras clave:	InfluxDB	Raspberry Pi	Material particulado (PM _{2.5})	sensores
	Monóxido de carbono	Arduino	Grafana	Series de tiempo
Fecha de publicación:	Mayo,2021			
Editorial:	Universidad Técnica Estatal de Quevedo			
Resumen	<p>El objetivo de esta investigación fue diseñar un sistema electrónico que permite detectar los niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM_{2.5}) en la Av. Guayaquil por un lapso de 2 meses, dónde se utilizaron sistemas embebidos que permitieron la recopilación de los datos, que luego fueron analizados con la Norma de Calidad del Aire o nivel de inmisión Libro VI anexo 4, en el cual determina los niveles de alerta de acuerdo al tipo de contaminante, se aplicó la ecuación de corrección de concentraciones para corregir el valor obtenido, tomando en cuenta las condiciones ambientales del área de estudio. El sensor MQ-7 fue empleado para detectar concentraciones de CO, es de tipo analógico y de fácil implementación con cualquier microcontrolador, cuenta con un calentador interno esto es para que los valores en la salida sean estables, en cambio el sensor PMS3003 su salida es de forma digital y los valores obtenidos los envió al host automáticamente en tiempo real. Toda la información obtenida por los sensores se almacenó en la base de datos InfluxDB, la cual se conecta con la aplicación web Grafana, que permitió mostrar la información por medio de gráficos, dónde se visualizaron las variaciones que hubo durante el tiempo de normalidad con el de confinamiento realizado por la pandemia.</p>			

	<p>Como resultado final del análisis de los niveles de concentración de monóxido de carbono (CO), se obtuvo un valor máximo 49.28 ppm, sin embargo, en material particulado (PM_{2.5}) alcanzó un valor máximo de 5.35 ppm, cuyos resultados se encuentran dentro del rango permisible y no tienen afectaciones a la salud humana.</p>
Descripción:	
URL	

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema general para todos los países del mundo. El rápido crecimiento urbano e industrial ha tenido como resultado la emisión al ambiente de enormes cantidades de productos residuales que son potencialmente nocivos. Los países se oponen a admitir el carácter limitado de las propiedades purificadoras de la atmósfera [1].

Las fuentes móviles representan las fuentes de contaminación que no poseen una posición geográfica determinada. En esta categoría se encuentra los vehículos propulsados por un motor de combustión interna, que por su naturaleza emiten diversos contaminantes tales como CO₂, CO, NO_x y material particulado (MP) [2].

China es el líder mundial de la contaminación en términos absolutos y por ello debe asumir progresivamente retos más ambiciosos para contribuir a la mejora de la situación a escala mundial[3]; en Latinoamérica particularmente en el país de Chile alrededor de 10 millones de chilenos están expuestos a niveles deletéreos de contaminantes atmosféricos, especialmente por material particulado fino[4]; en el Ecuador según el Ministerio del Ambiente y Agua se desarrollaron inventarios de emisiones en diferentes ciudades como: Ambato, Riobamba, Manta, Portoviejo, Ibarra, Milagro, Esmeraldas, Loja, Azogues, Babahoyo, Quevedo, Quito y Cuenca; cuyos resultados reflejaron que una de las actividades que más contamina es el tráfico vehicular, seguido de las emisiones provenientes de las industrias[5].

La calidad del aire se deteriora progresivamente al pasar los años por la continua emisión de contaminantes sin control. Esto ocasiona problemas ambientales que afectan a grandes ciudades y pequeñas poblaciones aledañas a las zonas urbanas. Gran parte de la contaminación atmosférica es originada por las industrias, porque emiten diversos contaminantes que son perjudiciales para la salud y el ambiente.

La finalidad del proyecto “Implementación de un sistema de monitoreo para detectar concentraciones de contaminantes atmosféricos como el material particulado (PM_{2.5}) y monóxido de carbono (CO) que son nocivos en la Av. Guayaquil de la ciudad Quevedo, provincia de Los Ríos”, es desarrollar un sistema electrónico que permita recopilar datos sobre estos contaminantes, mediante la utilización de sensores y otros componentes electrónicos, que muestra los valores en tiempo real por medio de una aplicación web.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problematización

1.1.1. Planteamiento de problema

La contaminación del aire representa uno de los conflictos ambientales más graves en zonas urbanas debido al crecimiento acelerado de la población, el incremento del parque automotor y la industrialización. En el Ecuador, el combustible utilizado por los distintos tipos de vehículos corresponde a hidrocarburos; por lo tanto, la ciudad de Quito se encuentra afectada con el 97% de emisiones de monóxido de carbono y 56% de dióxido de azufre, porque representan la principal fuente de contaminación atmosférica [6].

Según la OMS[7], en el 2012 el Ecuador presentó aproximadamente siete millones de personas que murieron como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica. Esta realidad si se redujera la contaminación atmosférica podrían salvarse millones de vidas.

El material particulado $2,5\mu\text{m}$ es considerado el más peligroso porque ocasiona efectos en la salud humana presentando síntomas en las vías respiratorias superiores, reacciones alérgicas, congestión nasal, sinusitis, tos, fiebre e irritación a los ojos. Las personas de escasos recursos socioeconómicos son más vulnerables a la contaminación del aire por su relativa desventaja y estrés psicosocial, además del reducido acceso a los tratamientos médicos [8].

1.1.1.1. Diagnóstico

En la ciudad de Quevedo no existe un sistema de control de emisiones atmosféricas, que permita conocer la calidad del aire existente en las zonas urbanas. Específicamente en la Av. Guayaquil por ser una de las avenidas más transitadas por vehículos livianos y pesados que son unos de los causantes del deterioro ambiental y a su vez uno de los responsables del efecto invernadero, debido que los motores de los vehículos tanto de gasolina como diésel emiten gases contaminantes como es el monóxido de carbono (CO), donde este representan el 76% de la contaminación que se genera al aire [9].

1.1.1.2. Pronóstico

Considerando que la Av. Guayaquil de la parroquia San Camilo presenta contaminación por material particulado ($\text{PM}_{2,5}$) y monóxido de carbono (CO); que son generados por el parque automotor, si no se toman prontas medidas correctivas su contaminación aumentará, afectando la visibilidad y el sistema respiratorio del ser humano.

1.1.2. Formulación del problema

¿De qué manera la implementación de un sistema de monitoreo permitirá detectar los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos en la Av. Guayaquil del Cantón Quevedo?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Qué dispositivos facilitarían la recopilación de datos sobre las concentraciones de (PM_{2.5}) y CO en la Av. Guayaquil?
- ¿Qué mecanismo se utilizaría para facilitar la recopilación de los datos con el sistema electrónico en la Av. Guayaquil?
- ¿De qué forma se mostrarán los datos obtenidos sobre las concentraciones de los contaminantes de criterio en la Av. Guayaquil?

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Implementar un sistema electrónico basado en sistemas embebidos para el monitoreo de las concentraciones de material particulado (PM_{2.5}) y monóxido de carbono emitidos en la Av. Guayaquil en la ciudad de Quevedo.

2.

2.1.1. Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema electrónico que permita el monitoreo de contaminantes atmosféricos.
- Modificar una aplicación web basada en IoT que muestre información de las concentraciones de contaminación obtenidas por la red de sensores.
- Analizar los datos obtenidos de las concentraciones de material particulado (PM_{2.5}) y monóxido de carbono en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo.

2.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el parque automotor ha crecido incontrolablemente en la ciudad de Quevedo lo cual ocasiona que en la Av. Guayaquil exista un incremento del tráfico vehicular y estos emanan contaminantes atmosféricos, la presencia de este tipo de contaminación en el aire representa un peligro para la población humana por los efectos adversos que produce sobre las funciones respiratorias y por ende disminuye la posibilidad de vivir en un ambiente saludable [10].

La importancia del estudio y control de la contaminación atmosférica está sustentada en la evidencia sobre el impacto negativo en la salud respiratoria y cardiovascular de las personas, así como también el deterioro de la calidad de vida y el ambiente. A pesar de los esfuerzos realizados por la autoridad ambiental local, las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$) en algunos países subdesarrollados son altas siendo la causante principal de morbilidad y mortalidad para niños menores de cinco años [11].

La creciente industrialización está obligando a la sociedad en general a la búsqueda de estrategias para el control de emisión de estas partículas, y a la implementación continúa de un sistema de monitoreo que permitan manejar información útil en la determinación de la calidad del aire.

Con la implementación de un sistema de monitoreo que permita analizar los diferentes contaminantes atmosféricos se puede conocer cuanta contaminación existe en la ciudad, donde estos datos obtenidos le servirán al GAD tomar medidas preventivas que ayuden a reducir estos niveles de contaminación para así salvaguardar el bienestar de la población.

La finalidad de esta investigación fue implementar un sistema de monitoreo para obtener datos de las emisiones de contaminantes atmosféricos como lo son el material particulado ($PM_{2.5}$) y el monóxido de carbono (CO) en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo, para realizar comparaciones con los límites permisibles establecidos en la normativa y a su vez que afectaciones ocasiona a la salud de los habitantes.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Contaminación atmosférica

La presencia en el aire de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos en concentraciones o niveles tales que puedan constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio natural [12].

Siempre ha existido contaminación atmosférica de origen natural, por erupciones volcánicas, incendios, tormentas de arena, descomposición de la materia orgánica o polen, pero es a partir del descubrimiento del fuego por el hombre cuando aparece la contaminación atmosférica antropogénica o contaminación atmosférica, en la cual ha cobrado importancia a partir de la revolución industrial y el uso masivo de combustibles fósiles como fuente de energía [13].

Aunque se puede originar contaminación atmosférica por escapes o arrastre de gases, material volátil, almacenado o utilizado de diversas formas, la principal fuente de contaminación son los procesos que implican combustión, al producirse la oxidación de los distintos elementos que componen los combustibles, las materias primas y el aire [13].

2.1.1.1.Principales contaminantes atmosféricos

Si vivimos en una ciudad es común identificar la contaminación del aire y asociarla a la actividad industrial. Comercial y al uso masivo de vehículos, características propias de una urbe. Sin embargo, la contaminación del aire no solo tiene su origen en la industria, en los hogares y por el aumento del uso de los vehículos. Los fenómenos naturales que se produce en el interior de la Tierra como es el caso de las erupciones volcánicas, que produce emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles que contribuyen a la contaminación del aire[14].

En la atmósfera se encuentra una serie de compuestos que contribuyen a la contaminación del aire, de los cuales se pueden diferenciar dos grupos principales:

2.1.1.2. Contaminantes primarios

Son vertidos directamente a la atmósfera por alguna fuente de emisión como chimeneas, automóviles y entre otros. Los contaminantes atmosféricos que integran este grupo son:

- **Óxidos de azufre (SO_x)**

Se forman por la combustión del azufre presente en el carbón y el petróleo. Los SO_x se forman con la humedad ambiente aerosoles, incrementando el poder corrosivo de la atmosfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia acida [14].

- **Monóxido de carbono (CO)**

Es un gas incoloro e inodoro que se forma por la combustión incompleta de material orgánico, en presencia deficitaria de oxígeno. Es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre, y uno de los mayores problemas ambientales de América Latina [15].

Las principales fuentes productoras de este contaminante son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel, los procesos industriales, incendios forestales urbanos y la incineración de materia orgánica. Los vehículos automotores y los procesos industriales son responsables de aproximadamente del 80% de las emisiones de monóxido de carbono a la atmósfera [15].

- **Óxidos de nitrógeno (NO_x)**

Se producen en la combustión de productos fósiles, destacando los vehículos, carbón y la quema de madera. La producción de fertilizantes, explosivos, tabaco y calderas que generan emisiones importantes de NO_x. El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) requieren especial atención. El NO se oxida formando NO₂, mientras que el NO₂ es precursor del smog fotoquímico [14].

- **Partículas (PM)**

Según su tamaño las partículas se depositan cerca o a cierta distancia de la fuente de emisión. Si son muy pequeñas pueden mantenerse suspendidas y ser transportadas a grandes distancias. Dentro de las partículas suspendidas se denomina respirables a las de un diámetro menor o igual a 10 µm (PM₁₀) por su capacidad de introducirse en las vías respiratorias [16].

- **Hidrocarburos (HC)**

Las emisiones de HC están asociadas a la mala combustión de derivados del petróleo. Las fuentes más importantes de emisión son el transporte por carretera, los disolventes, pinturas, vertederos y la producción de energía. Los de mayor interés son los compuestos orgánicos

volátiles (COV), dioxinas, furanos, bifenilos policlorados (PCB) y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) [14].

2.1.1.3. Contaminantes secundarios

Son los contaminantes originados en el aire como consecuencia de la transformación y reacciones químicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera. Se pueden considerar los siguientes:

- **Ozono (O₃)**

El O₃ forma parte de la composición de la atmósfera, sin embargo, a baja altura (O₃ troposférico) el cual resulta perjudicial por su carácter oxidante, reactivo, corrosivo y toxico por lo que reacciona con rapidez generando compuestos secundarios [14].

- **Lluvia ácida**

La lluvia ácida es un fenómeno ligado con la alta producción dependiente, principalmente del consumo de combustibles fósiles y de ciertas prácticas agrícolas como la quemas, que al liberar indiscriminadamente sustancias como los óxidos de azufre y de nitrógeno a la atmósfera, aportan la materia prima para la formación de los ácidos sulfúrico y nítrico, que posteriormente retoman a la superficie terrestre, bien sea como líquidos o aerosoles que afectan a los ecosistemas naturales [17].

2.1.2. Fuentes de emisión de contaminantes

Según Conrrado[18],Las fuentes se originan por la mezcla de miles de emisiones desde gases de chimeneas industriales hasta el uso indiscriminado de productos de limpieza o del excesivo uso de vehículos automotores. También los animales y la vegetación pueden contaminar el aire.

Por ese motivo, se agrupan en cuatro categorías importantes:

- **Puntuales o fijas:** Son todas las fuentes establecidas en los sectores industriales tales como: químico, petrolero, pinturas, papel, vidrio, acero, energía eléctrica, cemento, tratamiento de aguas residuales o fuentes que afecten el equilibrio de la ecología de una ciudad [18].
- **De área:** Incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, industriales, lavado en seco, artes

gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas. Esta fuente también incluye las emisiones de actividades como son el tratamiento de aguas residuales, plantas de composteo, rellenos sanitarios, entre otros [19].

- **Móviles (vehículos automotores):** Comprende las emisiones causadas por los automotores en la que incluyen los automóviles, camiones y autobuses diseñados para circular en la vía pública. En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos son los principales generadores de CO, CO₂, NO₂, SO₂, PM que son contaminantes tóxicos para el aire y en la cual reducen la visibilidad [18].
- **Naturales:** Los fenómenos de la naturaleza y la vida animal o vegetal contribuyen a la contaminación del aire. Puesto que existen áreas en las que las emisiones de fuentes naturales pueden ser significativas para la contaminación [18].

2.1.3. Material particulado

2.1.3.1. Fuentes primarias de material particulado

El origen del material particulado puede ser antropogénico o natural, y ser emitido directamente (aerosoles primarios) o formarse en la atmósfera por precursores gaseosos (aerosoles secundarios). Las fuentes antropogénicas se clasifican en estacionarias (relacionadas con la actividad industrial, comercial y residencial) y móviles son aquellas relacionadas al transporte [20].

2.1.3.2. Emisión fugitiva natural

El polvo suspendido por el viento es el principal componente natural del aerosol atmosférico, especialmente en zonas áridas o semiáridas es originada por suspensión de tierra o erosión de rocas por acción del viento [20].

2.1.3.3. Emisión fugitiva antropogénica

Las emisiones de polvo suspendido o polvo fugitivo fruto de la actividad humana son difíciles de cuantificar, corresponde a las emisiones provenientes de las calles pavimentadas y sin pavimentar, construcción, demolición, agricultura, manejo de materiales y vehículos [20].

2.1.3.4. Fuentes fijas

Estas incluyen el uso de combustibles fósiles en actividades industriales de generación termoeléctrica, calefacción comercial y residencial. El empleo en la industria de

combustibles fósiles como el carbón y petróleo es causante de la emisión de material particulado y precursores gaseosos (SO₂)[20].

2.1.3.5.Fuentes móviles

Corresponde a las emisiones provenientes de los gases de escape de vehículos, al polvo resuspendido por los vehículos y a otros componentes originados por el desgaste de frenos, partes metálicas y el deterioro de los neumáticos. Los motores a diésel son mayoritariamente responsables del material particulado primario, mientras que los vehículos con motor bencinero aportan gases como CO, COV y NO_x que son precursores de la formación del material particulado secundario[20].

2.1.4. Efectos del material particulado

2.1.4.1.Efectos en el clima

Las emisiones de material particulado tienen el potencial de afectar el clima de la tierra esto se debe a la capacidad que tiene de absorber y dispersar la radiación solar, lo que afecta el balance de energía radiactiva de la tierra. Además, las partículas pueden afectar como núcleos de condensación del vapor de agua e influir así en la formación de las nubes y alterar los patrones de precipitación a escala global [20].

2.1.4.2.Efectos en vegetales

La vegetación se ve afectada por la presencia de cantidades excesivas de partículas atmosféricas. Están recubren las hojas tapando los estomas, lo que produce una disminución en la absorción de anhídrido carbónico y la reducción en la intensidad de luz recibida[20].

2.1.4.3.Efectos en la visibilidad

Uno de los efectos más evidentes de la contaminación por material particulado es la reducción de la visibilidad, lo que afecta el bienestar de la población principalmente en su trabajo y en lugares de recreación [20].

2.1.5. Material particulado (PM_{2.5})

Cuanto más pequeñas son las partículas, mayores es su capacidad de penetración en el árbol respiratorio. Las partículas finas cuyo diámetro aerodinámico es de $\leq 2,5 \mu\text{m}$ alcanzan fácilmente los bronquiolos terminales y los alvéolos. Los niveles de contaminación determinados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo indica como riesgo para la salud humana son $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (media anual) y $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ (media diaria) [16].

Recientemente se han descrito las partículas “ultrafinas” cuyo diámetro es aún menor ($\leq 0,1 \mu\text{m}$) y pueden pasar directamente desde los alvéolos al torrente circulatorio. Las partículas pueden contener compuestos orgánicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos o inorgánicos como sales y metales [16].

2.1.5.1. Importancia de las partículas (PM_{2.5})

Varios estudios sugieren que las partículas (PM_{2.5}) tiene un efecto mayor en la salud humana esto se debe principalmente a su composición que puede ser más tóxica y se caracteriza principalmente por la presencia de sulfatos, nitratos, ácidos, metales y carbono negro, el último contaminante su fuente de emisión implica la quema incompleta de combustibles y su presencia en las partículas incrementa considerablemente su toxicidad [21].

Las partículas (PM_{2.5}) se diferencia de las partículas más gruesas, al ser respiradas y pueden llegar a los conductos más bajos de los pulmones y provocar importantes afectaciones a la salud humana. Por otro lado, las partículas de este rango de tamaño permanecen durante períodos más largos suspendidas en la atmósfera, dónde éstas recorren largas distancias donde la población está expuesta a períodos prolongados a estas particuladas [21].

2.1.5.2. Impactos en el ambiente

Una vez que las partículas (PM_{2.5}) se emiten a la atmósfera son transformadas o transportadas por medio de procesos atmosféricos y finalmente son depositadas, donde esta provoca la degradación de bosques, lagos, suelos, vida silvestre y la salud humana. Durante su permanencia en la atmósfera provocan diversos impactos al ambiente entre ellos se encuentra la disminución de la visibilidad y a su vez ocasionando el cambio climático [21].

2.1.6. Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido que fisiológicamente es producido por el organismo en cantidades ínfimas. Sin embargo, cuando se produce la inhalación de grandes cantidades se torna tóxico para el organismo debido a que al poseer tan baja densidad su inhalación se facilita y de esta manera los vapores de CO llegan a los alveolos pulmonares, posteriormente al torrente sanguíneo con la reducción de la capacidad que posee la sangre de llevar oxígeno a todo el organismo [22].

2.1.6.1.Fuentes de emisión de monóxido de carbono

Según Ortiz[22], Las fuentes productoras de monóxido de carbono se dan por los siguientes medios:

- El manejo inadecuado de los motores de automóviles que llegaran a producir la liberación de gas en ambiente cerrados como son los garajes.
- Fuentes industriales productoras de químicos como el formaldehído.
- Disolventes de pinturas, desengrasantes, barnices que producen vapores tóxicos que son causantes de patologías a nivel hepático.
- El consumo de tabaco también es considerado como una fuente importante de producción de CO, ya que diversos estudios realizados han determinado que en individuos fumadores el nivel de carboxihemoglobina presente en su organismo es elevado en comparación a un individuo no fumador [22].

2.1.6.2.Efectos por la contaminación causada por el monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas que causa un gran impacto y efectos terribles en el organismo, mismo que puede provocar una disminución en el transporte de oxígeno a la sangre y como consecuencia disfunciones cardiacas, deterioros en el sistema nervioso, dolores de cabeza, mareos e inclusive la fatiga, pueden producirse en las personas sino también sobre la naturaleza afectando directamente al clima y la generación de gases con efecto invernadero, lo que afecta a la atmósfera generando CO₂ y O₃ [23].

2.1.7. Tecnologías empleadas para la comunicación con los sistemas embebidos

2.1.7.1.Transmisión de datos

Según González[24], En la mayor parte de las ocasiones se tendrán dos dispositivos que se intercambian datos conectados mediante un medio de transmisión. Este intercambio de datos se puede hacer de varias formas en función de la dirección del flujo de las señales enviadas entre los dispositivos enlazados, lo que se conoce como modos de transmisión:

- **Simplex:** cuando se establece una comunicación unidireccional entre los dos dispositivos. Un dispositivo solo recibe y el otro solo envía. Un ejemplo de comunicación simplex podría ser la radio o la televisión [24].

- **Half-dúplex o semidúplex:** cada dispositivo puede enviar y recibir datos, pero no al mismo tiempo. Cuando un dispositivo envía, el otro solo puede recibir y viceversa. Un ejemplo de este tipo de comunicación son los walkie talkies [24].
- **Full-dúplex o dúplex:** cuando los dispositivos que llevan a cabo la comunicación pueden enviar y recibir de forma simultánea. Para ello debe haber dos caminos diferentes o si tiene que dividir la capacidad del enlace en dos canales. Un ejemplo de comunicación dúplex es la que se lleva a cabo en un ordenador conectado a una LAN [24].

2.1.8. Medios de transmisión

El medio de transmisión es el camino físico entre el transmisor y el receptor. Cualquier medio físico que pueda transportar información en forma de señales electromagnéticas se puede utilizar en las redes de datos como un medio de transmisión[25].

2.1.8.1. Medios guiados

Los datos son transportados a través de un material que canaliza la señal que transporta. Es lo que se conoce habitualmente como medios cableados o simplemente cables. Cuando conectamos dos dispositivos mediante un cable, la información viaja de un dispositivo a otro canalizada en dicho cable. Existen dos tipos de señales que se pueden utilizar para transportar datos de un medio guiado: las señales eléctricas y las señales ópticas [24].

2.1.8.2. Medios no guiados

Los datos viajan en forma de ondas electromagnéticas utilizando el aire como medio de transmisión. En este caso los datos se propagan sin estar sujetos a ninguna canalización que guíe la señal, también recibe el nombre de medios inalámbricos [24].

2.1.9. El protocolo del bus I²C

El bus I²C solo define dos señales además del común:

- **SDA:** Es la línea de datos serie (serial DATA, en inglés), semibidireccional eléctricamente se trata de una señal a colector o drenador abierto. Es gobernada por el emisor, sea este un maestro o un esclavo [26].
- **SCL:** Es la señal de sincronía (reloj serie, o serial Clock en inglés). Eléctricamente se trata de una señal a colector o drenador abierto. Es un esclavo de entrada, mientras que un maestro es de salida. Un maestro además de generar la señal de sincronía

suele tener la capacidad de evaluar su estado e implementar un mecanismo de adaptación de velocidades [26].

2.1.9.1.Estados de bus I₂C

El bus I₂C puede encontrarse en distintos estados, la norma define los siguientes:

- **Libre:** Este estado se caracteriza por encontrarse las líneas SDA y SCL en estado de 1, sin que se esté realizando ningún tipo de transferencia [26].
- **Inicio:** Se produce una condición de inicio cuando el maestro inicia una transacción. En concreto, consiste en un cambio de alta a baja en la línea SDA mientras que SCL permanece alta. A partir de que se dé una condición de inicio se considerará que el bus está ocupado y ningún otro maestro deberá intentar generar su condición de inicio [26].
- **Dato:** Este estado es el que, una vez iniciada una transacción, queda definido por la fase alta de la señal de sincronía SCL. En este estado se considera que el dato emitido es válido, y no se admite que puede cambiar. Recuerde que ya iniciada una transferencia el único instante en que la línea de datos puede cambiar es en el cambio de estado [26].
- **Parada:** Se produce una condición de fin o parada cuando la línea SCL se encuentra alta, se produce un cambio de baja a alta en la línea SDA. Obsérvese que esto es una violación de la condición de dato, y es precisamente por esto por lo que se utiliza para que un maestro pueda indicar al esclavo que se finaliza la transferencia. Tras la condición de parada se entra automáticamente en el estado de bus libre [26].

2.1.10. Lenguaje de programación

2.1.10.1. Lenguaje Python

Python es un lenguaje de programación creado por Guido Van Rossum a principios de los años 90, es un lenguaje similar a Perl, pero con una sintaxis muy limpia y que favorece un código legible. Se trata de un lenguaje interpretado o de script, con tipado dinámico, fuertemente tipado, multiplataforma y orientado a objetos [27].

Un lenguaje interpretado o de script es aquel que se ejecuta utilizando un programa intermedio llamado interprete, en lugar de compilar el código a lenguaje máquina que pueda comprender y ejecutar directamente una computadora (lenguajes compilados) [27].

2.1.10.2. Lenguaje C++

El lenguaje C++ es un lenguaje que soporta diversos estilos de programación (por ejemplo, la programación genérica y la programación orientada a objetos POO). Todos los estilos se basan en una verificación fuerte de tipos y permiten alcanzar un alto nivel de abstracción [28].

Este tipo de lenguaje está fundamentado en C lo que garantiza que millones de líneas de código C existentes puedan beneficiarse de C++ sin necesidad de reescribirlas. Existen varias implementaciones de C++, de distribución gratuita por ejemplo GCC (GNU Compiler Collection) [28].

2.1.11. Base de datos (Database DB)

Es un almacén de datos relacionados con diferentes modos de organización. Una base de datos representa algunos aspectos del mundo real, aquellos que le interesan al usuario y a su vez almacena datos con un propósito específico. Con la palabra “datos” se hace referencia a hechos conocidos que pueden registrarse, como por ejemplo números telefónicos, direcciones y los nombres de cada usuario [29].

2.1.11.1. Integridad de los datos

Aparte de las reglas de integridad que el diseñador de la BD puede definir y que el SGBD entenderá y hará cumplir, el mismo SGBD tiene reglas de integridad inherentes al modelo de datos que utiliza y que siempre se cumplirán. Son las denominadas reglas de integridad del modelo [30].

Las reglas definibles por parte del usuario son las reglas de integridad del usuario. El concepto de integridad de los datos va más allá de prevenir que los programas usuarios almacenen datos incorrectos. En casos de errores o desastres, también podríamos perder la integridad de los datos. El SGBD nos debe dar las herramientas para reconstruir o restaurar los datos dañados [30].

2.1.11.2. Optimización de consultas relacionales

Optimizar una consulta implica escoger la forma más eficiente de ejecutarla. Se trata de minimizar los recursos necesarios para evaluar su correspondiente expresión de consulta. El problema de optimización exacta es computacionalmente intratable y como además no se dispone de información estadística precisa sobre la base de datos, los algoritmos de evaluación de consultas se apoyan en heurísticas [31].

Una expresión representando la consulta del usuario tiene una forma estándar, independientemente del contenido de la base de datos, se transforma de manera que se mejore su evaluación. Después, esta se convierte en secuencias de operaciones. Para cada operación se tiene una buena implementación con un costo asociado y cada una de estas secuencias es un plan acceso [31].

2.1.11.3. El compilador de consultas

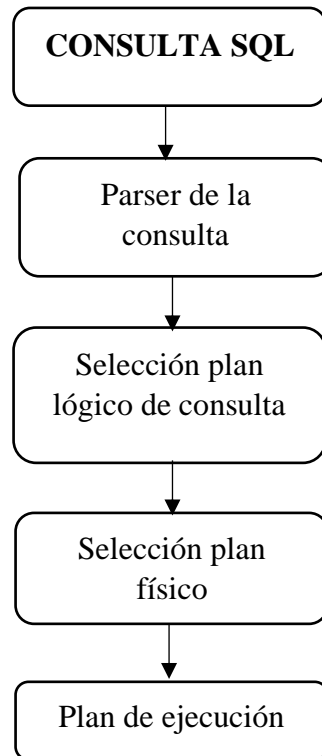
El procesador de consultas componente del SGBD, convierte una consulta en una secuencia de operaciones que se ejecutan sobre una instancia de la base de datos. El procesador debe, por tanto, compilar la consulta, expresado en un lenguaje de alto nivel y ejecutarla. En la primera etapa, la consulta se descompone en un árbol que representa su estructura(parse)[31].

En la segunda etapa, este árbol se transforma en un árbol de expresión en algebra relacional, que representa el plan lógico de la consulta. Finalmente, en la última etapa, el plan lógico se transforma en un plan físico. El plan físico describe las operaciones que se deben ejecutar, el orden de ejecución de estas operaciones, los algoritmos que se utilizan para cada operación y la forma en la cual se obtiene los datos y se pasan entre operaciones [31].

2.1.12. Series de tiempo

Se llama series de tiempo a un conjunto de observaciones sobre valores que toma una variable (cuantitativa) en diferentes momentos del tiempo. Los datos se pueden comportar de diferentes formas a través del tiempo, puede que se presente una tendencia, un ciclo; no tener una forma definida o aleatoria, variaciones estacionales (anual, semestral y etc) [32].

Figura 1 Estructura de consulta SQL



Fuente: Investigación

Las observaciones de una serie de tiempo serán denotadas por $Y_1; Y_2, \dots, Y_T$, donde Y_t es el valor tomado por el proceso en el instante del tiempo T . los modelos de series de tiempo tienen un enfoque netamente predictivo y en ellos los pronósticos se elaboran solo a base al comportamiento basado de la variable de interés. Se puede distinguir dos tipos de modelos de series de tiempo [32]:

- **Modelos deterministas:** Se trata de métodos de extrapolación sencillos en los que no se hace referencia a las fuentes o naturaleza de la aleatoriedad subyacente en la serie. Su simplicidad relativa generalmente va acompañada de menor precisión. Ejemplos de modelos deterministas son los modelos de promedio móvil en los que se calcula el pronóstico de la variable a partir de un promedio de la “n” valores anteriores [32].
- **Modelos estocásticos:** Se basan en la descripción simplificada del proceso aleatorio subyacente en la serie. En términos sencillos, se asume que la serie observada Y_1, Y_2, \dots, Y_T se extrae de un grupo de variables aleatorias con una cierta distribución

conjunta difícil de determinar, por lo que se construyen modelos aproximados que sean útiles para la generación de pronósticos [32].

- **Serie no estacionaria:** Es aquella cuyas características de media, varianza y covarianza cambian a través del tiempo lo que dificulta su modelamiento. Sin embargo, en muchas ocasiones, si dicha serie es diferenciada una o más veces la serie resultante será estacionaria (procesos no estacionarios homogéneos) [32].
- **Serie estacionaria:** Es aquella cuya media y varianza no cambian a través del tiempo y cuya covarianza solo es función del rezago. Gracias a estas características podremos modelar el proceso subyacente a través de una ecuación con coeficientes fijos estimados a partir de los datos anteriores [32].

2.1.13. InfluxDB

La base de datos de series temporales sin espacio abierto con componentes opcionales de origen cerrado desarrollados por InfluxData. Está escrito en lenguaje de programación Go y esta optimizado para manejar datos de series de tiempo y proporcionar un lenguaje de consulta similar a SQL[33].

2.1.13.1. Motor de almacenamiento

InfluxDB actualmente utiliza su estructura de datos integrada interna, cuenta con un árbol de fusión estructurado por tiempo (árbol TSM). Sin embargo, InfluxDB ha utilizado varios formatos de almacenamiento en diferentes versiones. Inicialmente utilizaba LevelDB (una base de datos basada en LogStructured Merge Tress (LSM), que optimiza el rendimiento de escritura y ofrece compresión incorporada [33].

Sin embargo, LevelDB no proporciona una funcionalidad de respaldo en caliente, lo que significa que debe cerrar la base de datos para copiarla de manera segura. Por esta razón, InfluxDB utilizó variantes de levelDB, como RocksDB y HyperlevelDB, que también usan arboles LSM. Sin embargo, hay un problema inherente con los árboles LSM, eliminación es una operación costosa y una serie temporal DB requiere eliminaciones a gran escala [33].

2.1.14. Grafana

Grafana es una herramienta hecha en software libre, específicamente con licencia Apache 2.0, ideada por Torkel Odegaard (quien todavía está al frente de su desarrollo y mantenimiento) y creada en enero de 2014. Este desarrollador sueco comenzó su carrera en

el ambiente.NET y en 2012 (hasta la fecha) sigue ofreciendo servicios de desarrollo y consultoría en esta popular plataforma privativa, de forma paralela con el desarrollo de software libre [34].

Grafana está escrita en lenguaje Go (creado por Google) y Node.js LTS y con una fuerte interfaz de programación de aplicaciones (API); es una aplicación que ha venido escalando posiciones, con una comunidad entusiasta de más de 600 colaboradores bien integrados y su código fuente esta publicado en GitHub [34].

2.1.14.1. Ecosistema de Grafana

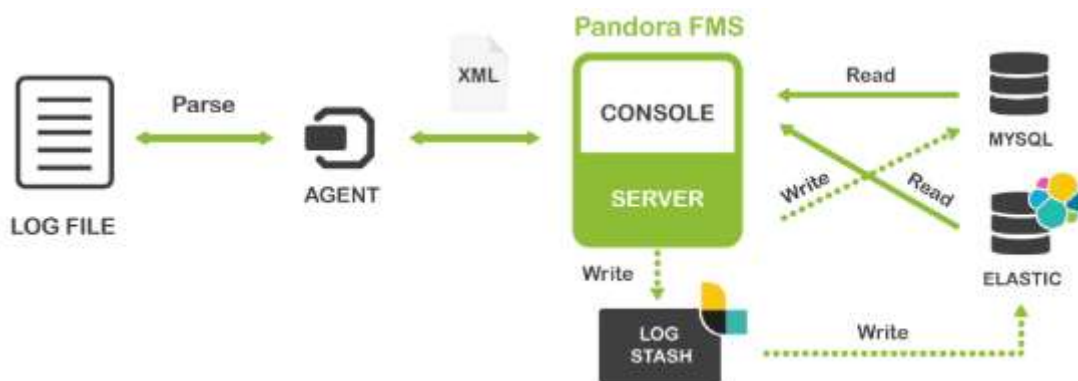
El único objetivo de Grafana es presentar los datos de monitoreo de una manera más fácil de usar y agradable. Puede recopilar de forma nativa datos de Cloudwatch, Graphite, Elasticsearch, OpenTSDB, Prometheus, Hosted Metrics y InfluxDB [34].

Existe una versión Enterprise (Grafana.com) que usa complementos para más fuentes de datos, pero no hay razón para que otros complementos de fuentes de datos no puedan crearse una fuente abierta, ya que el ecosistema de complementos de Grafana debido que ofrece muchas otras fuentes de datos [34].

2.1.14.2. Grafana en el campo de monitorización

Elasticsearch es una de las fuentes de datos para las que Grafana ofrece apoyo nativo, considerando que grafana es un componente dentro de Kibana, de la cual se bifurco. La plataforma ELK significa la combinación de Elasticsearch Logstash y Kibana; los dos primeros componentes son utilizados por pandora FMS desde la versión 712 para la recolección de logs como se muestra en la figura 2 [34]:

Figura 2 Comunicación de aplicación web con una base de datos



Fuente: <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-grafana/>

2.1.15. Señales analógicas y digitales

2.1.15.1. Señales analógicas

Son variables que evolucionan en el tiempo en forma análoga a alguna variable física. Estas variables pueden presentarse en la forma de una corriente, una tensión o una carga eléctrica. Varían en forma continua entre un límite inferior y un límite superior. Cuando estos límites coinciden con los límites que admite un determinado dispositivo, se dice que la señal está normalizada. La ventaja de trabajar con señales normalizadas es que se aprovecha mejor la relación señal/ruido del dispositivo [35].

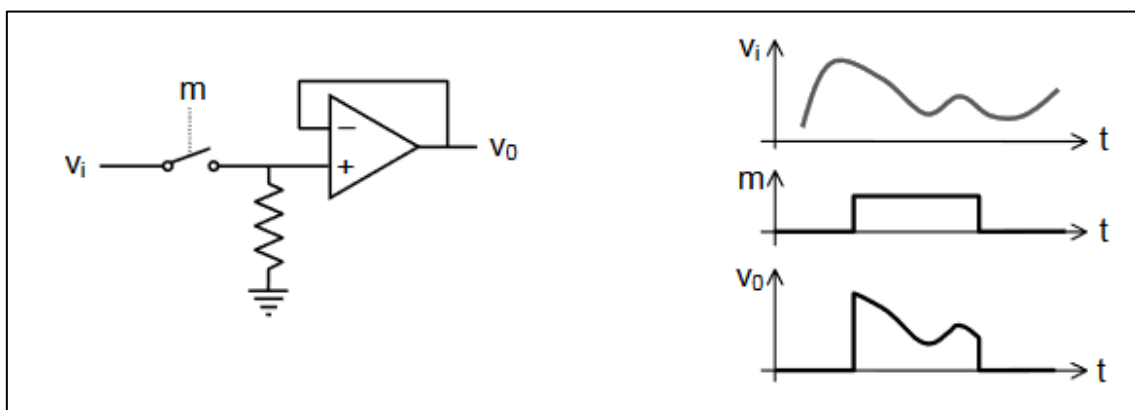
2.1.15.2. Señales digitales

Son variables eléctricas con dos niveles bien diferenciado que se alternan en el tiempo transmitiendo información según un código previamente acordado. Cada nivel eléctrico se representa mediante símbolos puede ser 0 ó 1, los niveles específicos dependen del tipo de dispositivo utilizado. En el caso de la familia CMOS (complementar y metal oxide semiconductor) los valores dependen de la alimentación [35].

2.1.16. Muestreo y retención

Se denomina muestreo a la acción de tomar muestras (valores) de una señal en una sucesión de instantes sin importar lo que sucede el resto del tiempo. Ello implica poder conmutar la señal de manera que en el instante deseado la misma atraviese un amplificador (seguidor) y fuera de ese instante la entrada quede conectada a masa. Ello puede lograrse con el circuito que se muestra en la figura 3[35]:

Figura 3 Circuito de muestreo y su comportamiento



Autor: Federico Miraya

Fuente: <https://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/da-ad.pdf>

2.1.17. Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos hacen referencia a una combinación de hardware y software de computador diseñado para realizar operaciones de cómputo, normalmente en tiempo real, y cumplir con una función específica; sus recursos son limitados, pero son muy útiles en la construcción de productos dedicados [36].

Existen básicamente dos tipos de sistemas embebidos los que corresponden a sistemas autónomos y que funcionan por sí solos, capaces de realizar varias funciones a la vez; y los que son parte de sistemas mayores, los cuales cumplen una funcionalidad. Los miniPC son siempre una buena opción para disfrutar de toda la potencia de un ordenador, pero en tamaño compacto y el software que utiliza estos sistemas es el Open Source [36].

2.1.17.1. Raspberry Pi

Este embebido se desarrolló en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi (Universidad de Cambridge) en el año 2011, con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas, aunque su comercialización se dio en el año 2012, por su bajo costo y sus enormes posibilidades. La placa base de la Raspberry Pi se aloja en un chip Broadcom BCM2835, procesador ARM de hasta 1 GHz, GPU VideoCore IV y 512 MB de memoria RAM [36].

2.1.17.2. Arduino Mega

Es una placa basada en el microcontrolador ATmega2560, como características más destacables cuenta con 54 pines de entrada/salidas (de los cuales 14 pueden ser usados como salidas analógicas PWM), 16 entradas analógicas y 4 receptores/transmisores serie TTL-UART. Consta de una memoria flash de 256 Kilobytes (de los cuales 8 son reservados para el bootloader), una memoria SRAM de 8KB y una EEPROM de 4KB. Su voltaje es igual al del modelo UNO que es de 5V [37].

2.1.18. Sensores

2.1.18.1. Sensor PMS3003

Sensor de concentración de partículas digital y universal, que puede usarse para obtener la cantidad de partículas suspendidas en el aire, es decir, la concentración de partículas y su salida en forma de digital interfaz. Este sensor se puede insertar en instrumentos variables relacionados con la concentración de partículas suspendidas en el aire u otro medio

ambiente, equipos de mejora para proporcionar datos de concentración correctos en el tiempo[38].

2.1.18.1.1. Funcionamiento

El principio de dispersión laser se utiliza para dicho sensor, produce dispersión utilizando laser para irradiar partículas en suspensión en el aire, luego recoge la dispersión luz en cierto grado, y finalmente obtener la curva de dispersión del cambio de luz con tiempo. Al final, el diámetro de partícula equivalente y el número de partículas. Con diferentes diámetros por unidad de volumen se puede calcular por microprocesador basado en la teoría MIE [38].

2.1.18.1.2. Resultados de la salida del sensor

La salida principal es la concentración de masa y la unidad es $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Existen dos opciones para la salida digital, que es la pasiva y la activa. Cuenta con un modo por defecto que está activo después del encendido. En este modo el sensor enviaría datos en serie al host automáticamente. El modo activo se divide en dos modos secundarios que es el estable y el modo rápido. Si el cambio de concentración es pequeño el sensor funcionaria en modo estable en un intervalo real de 2.3. Y si el cambio es grande el sensor se cambiaria a modo rápido automáticamente con un intervalo de 200 – 800ms, cuanto mayor sea la concentración menor será el intervalo [38].

2.1.18.2.Sensor MQ-7

Es un sensor de monóxido de carbono (CO), empleado para detectar las concentraciones de CO en el aire, pero también muestra sensibilidad al H_2 . Los de la serie MQ son analógicos y fáciles de implementar con cualquier microcontrolador [39].

Los distintos tipos de sensores MQ muestran diferente sensibilidad de acuerdo a los gases que detectan, siendo más sensibles a algunos que a otros, pero a pesar de ello, pueden detectar más de un gas, por lo que es preciso revisar los manuales para elegir el sensor adecuado para la aplicación a diseñar [39].

Figura 4 Sensor de monóxido de carbono



Autor: Aymacaña, O. (2017)

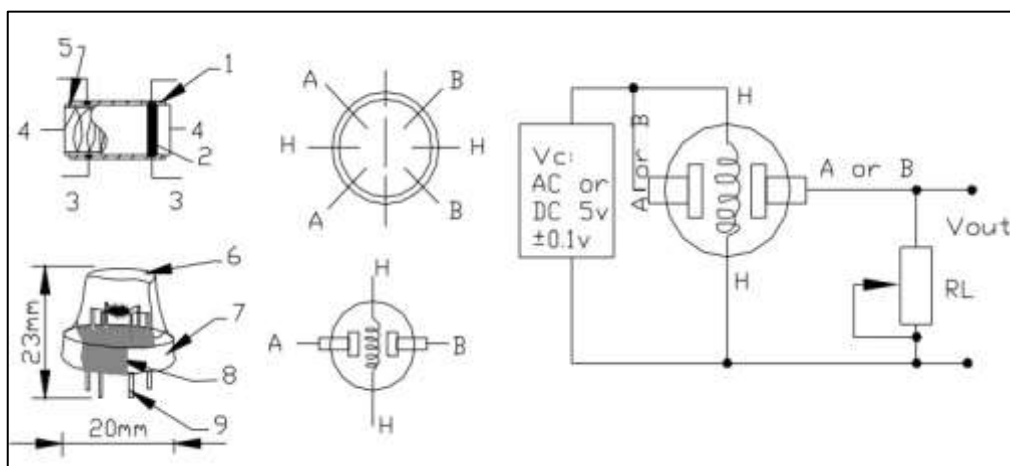
Fuente: <http://trobotica.co/sensor-de-monoxido-de-carbono-mq-7-/141.html>

2.1.18.2.1. Características

Se puede mencionar que son dispositivos electroquímicos y varían su resistencia de acuerdo a los gases a los que se exponen, interiormente tiene un calentador encargado de aumentar la temperatura interna de manera que el sensor reaccione con los gases, de acuerdo al valor de la resistencia que se genere dentro de este y con ello, el sensor pueda reaccionar con los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia[39].

Dependiendo del modelo del sensor, estos pueden emplear un voltaje de 2 a 5 voltios, este sensor actúa como una resistencia además de que emplea otra de carga (R_L) que cierra el circuito y lograr una división de tensión y que el microcontrolador lo pueda leer[39].

Figura 5 Vista del sensor MQ-7



Fuente: Quezada, H (2017) Electrónica de Sensores

Debido al calentador interno que posee es importante esperar un cierto tiempo para que caliente y los valores en la salida sean estables, esto puede durar entre 12 y 48 horas. Estos sensores, se los encuentra en forma de módulos, lo que es de gran utilidad para la conexión,

únicamente se debe alimentar de voltaje el módulo para que empiece a funcionar el sensor, estos dispositivos poseen una salida digital mediante el uso de un comparador, pero este debe ser calibrado mediante un potenciómetro para establecer el umbral y lograr interpretar la salida ya sea cuando haya o no haya la presencia de gas[39].

2.2. Marco Referencial

A continuación, se presentan diferentes trabajos de investigación sobre la implementación de un sistema de monitoreo sobre la calidad de aire utilizando sistemas embebidos y los datos son visualizados en tiempo real por medio de plataformas web, en la cual servirá de mucho apoyo para el desarrollo de esta presente investigación.

2.2.1. Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire.

Esta investigación presenta el desarrollo de un prototipo de sistema de medición y monitoreo de algunas de las variables ambientales relacionadas con la calidad del aire como temperatura, humedad, presión atmosférica, densidad de polvo y las concentraciones de monóxido y dióxido de carbono. Los datos son capturados correspondiente al año 2018 por los sensores que están integrados en el microcontrolador Arduino en la cual permite la comunicación Wifi con el servidor Web mediante el uso del protocolo MQTT que permite la inserción de datos con una base de datos MongoDB. Donde también se le aplica métodos de tratamiento y visualización de datos para que sean visibles desde diversos dispositivos por medio de una aplicación Web. De esta manera, se podrá contar con más datos, que mediante un posterior tratamiento se convertirán en información de gran utilidad para orientar los procesos de toma de decisiones en materia ambiental por parte de los usuarios, ya sean individuos o comunidades [40].

2.2.2. Plataformas tecnológicas aplicadas al monitoreo climático

Este artículo menciona la importancia que han tomado las tecnologías embebidas de bajo costo para aplicaciones de monitoreo ambiental, usadas en redes de sensores inalámbricos, destacándose una de ellas. En la Región del Caribe en el año 2013, utilizaron una placa de Arduino diseñada en un nodo WSN para adquirir los datos, luego procedieron aplicar la metodología Work Breakdown Structure comparando tres tecnologías de adquisiciones de datos, destacando la plataforma Arduino como la opción viable. Además, se muestra un análisis de cuatro sistemas de comunicación inalámbricos que complementaria al nodo con

la red de sensores para el monitoreo ambiental. Finalmente se realizó una comparación de la temperatura entre el prototipo con la estación meteorológica Vantage Pro 2 donde se obtuvieron resultados similares [41].

2.2.3. Sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de internet de las cosas.

En esta investigación propone un sistema para la recolección de datos meteorológicos usando una red de sensores inalámbricos (RSI), capaz de transmitir los datos en tiempo real. El sistema logra automatizar los procesos de obtención de datos de manera continua y a largo plazo, por medio de un módulo de abastecimiento de energía solar que permite autonomía para su funcionamiento. Para el diseño e implementación de prototipos se propone la construcción de dos sistemas basados en DigiMesh y Wifi, los que pueden aplicar a diferentes escenarios como zonas urbanas y rurales[42].

Adicionalmente se evalúa la transmisión de información a plataforma de internet de las cosas (IoT) en donde se gestionará y se visualiza los datos obtenidos por los nodos. Este sistema fue concebido como una alternativa de bajo costo comparado con las estaciones meteorológicas convencionales que posean estas prestaciones y está basado en componentes de hardware y software libre. Finalmente, se realizó la validación de los resultados obtenidos mediante un análisis estadístico con los datos registrados en una estación meteorológica Davis Vantage Pro donde se obtuvo un error relativo promedio máximo de 4.93% [42].

2.2.4. Implementación de un sistema aéreo de medición y almacenamiento de parámetros meteorológicos georreferenciados para zonas pequeñas

La presente investigación se realizó el diseño e implementación de un sistema de adquisición y almacenamiento de información meteorológica, que permite realizar estudios atmosféricos en áreas geográficas pequeñas. El prototipo que se desarrolló este compuesto por un sistema aéreo móvil y un sistema fijo en tierra. La parte móvil se encarga de la adquisición de la información meteorológica durante el sobrevuelo de un dron, junto con sensores de parámetros meteorológicos, dispositivos GPS, tarjetas de comunicación inalámbrica y Raspberry Pi, para su posterior transmisión hacia el sistema en tierra [43].

A su vez la parte fija se encarga de la recepción inalámbrica de dicha información y su almacenamiento en archivos de textos guardado en la memoria de una segunda Raspberry Pi. Para el presente proyecto como caso de estudio se considera la zona norte del Distrito

Metropolitano de Quito. La información meteorológica se adquirirá a diferentes alturas y en varios sectores del área del volcán Pululahua y San Antonio de Pichincha, el presente trabajo forma parte del proyecto de investigación interno de la FIEE denominado “Implementación de un sistema piloto que permita la geolocalización de zonas con mejores características meteorológicas para la generación artificial de nubes [43].

Las pruebas de funcionamiento se realizan llevando al sistema móvil a diferentes alturas con el fin de apreciar el comportamiento de la presión, humedad y temperatura en función de la altitud[43].

2.3. Marco Legal

2.3.1. Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión Libro VI anexo 4 (Tulsma).

La presente norma tiene como objeto principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire [44].

2.3.1.1. Niveles de alertas para contaminantes de tipo criterio

Según el Ministerio del Ambiente (2015) se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire. Cada uno de los tres niveles será declarado por la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental cuando uno o más de los contaminantes criterio indicados exceda la concentración [44].

- **Nivel de alerta:** Restringir la circulación, así como la operación de fuente fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos. Estas últimas acciones podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como el soplado de hollín, o solicitar a determinadas fuentes fijas no reiniciar un proceso de combustión que se encontrase fuera de operación [44].

- **Nivel de alarma:** Informar al público del establecimiento del nivel de alarma. Restringir e inclusive prohibir la circulación de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en se está verificando el nivel de alarma [44].
- **Nivel de emergencia:** Informar al público del establecimiento del nivel de emergencia. Prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia. Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental [44].

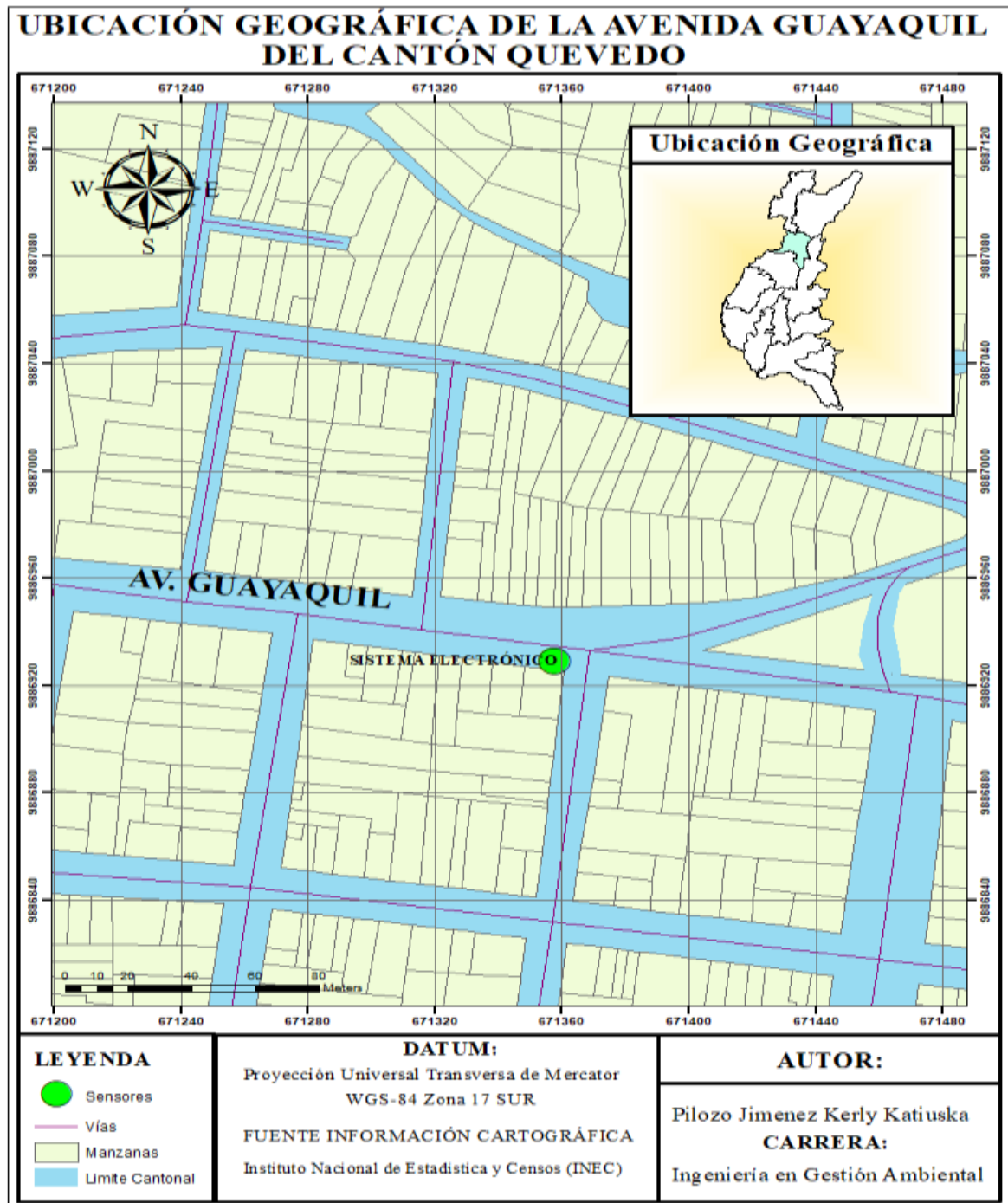
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Quevedo, perteneciente a la provincia de Los Ríos, específicamente en la avenida Guayaquil de la parroquia San Camilo, Está avenida inicia desde el puente Velasco Ibarra y continúa su recorrido hasta el parque de la Amistad (Club de Leones).

Figura 6 Localización del área de estudio



Fuente: Autor

Es una de las avenidas principales de San Camilo en donde circulan los carros que se dirigen tanto a la ciudad de Guayaquil y al cantón La Maná, donde se observó que existe gran circulación vehicular en los siguientes horarios de 8:00am a 10:00 am, 12:00 pm a 14:00 pm y de 17:00 pm a 19:00 pm que son consideradas como horas picos.

3.2. Condiciones ambientales

3.2.1. Altitud

La altitud promedio de la superficie del cantón Quevedo es de 80 m.s.n.m. La mayor parte de la superficie del cantón se asienta sobre la llanura antigua de deposición, con superficies planas o ligeramente onduladas (5 – 40%). Además, se distinguen valles fluviales en donde se diferencian a lo largo de los ríos, terrazas altas localmente colgantes y a lo largo principalmente del río Quevedo y cauces abandonados [45].

En el territorio del cantón Quevedo predomina el ecosistema del Bosque Tropical Húmedo. Uno de los agentes que interviene en su formación es el clima Tropical Monzónico con la temporada de calor y lluvias fuertes que dura desde diciembre a mayo y la época seca en el periodo desde junio a diciembre [45].

3.2.2. Temperatura

La temperatura promedio es de 25°C. La curva de distribución de la temperatura media multianual presenta su máximo en los meses de marzo – abril y su mínimo en los meses de julio- agosto. También es de carácter modal [45].

3.2.3. Precipitación

La precipitación varía entre 1750mm y 2500 mm. La curva de distribución anual de la precipitación es de carácter modal con un máximo en el mes de febrero y un mínimo en el mes de agosto. El flujo anual de la precipitación ocurre dentro de los siguientes términos el 85–90% de total anual ocurre durante la época lluviosa, mientras que el restante de 10 -15% es durante la época seca [45].

Durante los meses de lluvia el sol brilla con mayor intensidad, sin embargo, la luminosidad varía entre 1,5 y 2,4 horas, mientras que la nubosidad por lo general alcanza valores altos como de 7 y 8 octavos [45].

3.2.4. Suelo

Los suelos de la zona son fértiles con buen drenaje interno, lo que explica su predominante uso agrícola para gran variedad de cultivos tanto de exportación, como de consumo. El principal tipo de suelo es derivado de cenizas volcánicas recientes con texturas desde franco arenoso hasta arcillosa lo que explica su fácil erosión. A nivel de orden pertenecen a los Andisoles a la serie Pichilingue [45].

La erosión y pérdida de fertilidad son algunos de los problemas serios para el cantón más de 80% de la superficie tiene el uso agrícola. De esta más del 50% posee riesgo de erosión alta y 15% riesgo de erosión muy alto debido a varios factores como es la textura media y gruesa de los suelos, pendientes mayores a 10° y prácticas inadecuadas de uso [45].

3.3. Materiales y equipos

Para realizar la investigación en el área de estudio se utilizó los siguientes materiales y equipos.

3.3.1. Hardware

Tabla 1 Recursos de Hardware utilizados en la Investigación

CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
1	Raspberry Pi	Es un ordenador de placa reducida que permite almacenar cualquier tipo de información debido que cuenta con un procesador de 1ghz
1	Arduino	Permite entrada y salidas analógicas, a pesar que su tamaño es pequeño permite tener conexiones con la Raspberry pi para poder procesar cualquier tipo de información
1	Sensor MQ-7	Este sensor permite detectar concentraciones de CO en el aire, este sensor es de tipo analógico y fácil de implementar.
1	Sensor PSMS3003	Sensor de concentración de partículas digital y universal, que puede usarse para obtener la cantidad de partículas suspendidas.

Fuente: Autor

3.3.2. Software

En la tabla 2, se muestran los diferentes tipos de software utilizado en el trabajo de investigación.

Tabla 2 Recursos de software

NOMBRE	DESCRIPCIÓN
VNC CONNECT	Permite tener acceso remoto a la Raspberry pi
THONNY	Es un editor de código para los sensores
INFLUXDB	Es un gestor de base de datos
GRAFANA	Es una aplicación web que permite visualizar datos en tiempo real.

Fuente: Autor

3.4. Métodos de investigación

3.4.1. Método de observación

Se utilizó el método de observación, el cual permitió visualizar en la Av. Guayaquil el tráfico vehicular donde estos automotores emiten contaminantes de tipo criterio como son el monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM_{2.5}) diariamente que pueden afectar a la salud de los habitantes, para la cual se procederá a la instalación del sistema de monitoreo en la área de estudio identificada permitiendo así obtener información concisa de la contaminación genera por estos contaminantes atmosféricos.

3.4.2. Método analítico – sintético

Este método se utilizó con el fin de observar el comportamiento de las emisiones de los gases contaminantes en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo, como también conocer la respuesta que tiene el sistema electrónico para el monitoreo del material particulado (PM_{2.5}) y el monóxido de carbono (CO). Posteriormente se analizaron los datos obtenidos para comparar si se encuentra dentro de los límites permisibles.

3.4.3. Método inductivo

Este método fue de mucha utilidad para el desarrollo de la investigación mediante la formulación de preguntas que permiten obtener mayor información tal como: ¿De qué manera se puede recopilar datos de los niveles de concentración del material particulado (PM_{2.5}) y monóxido de carbono en la Av. Guayaquil?, ¿Qué equipos electrónicos se podrán

utilizar para tener mejor resultados?, y en consecuencia de ello se establecerán conclusiones al final de la investigación.

3.5. Tipo de investigación

3.5.1. Investigación diagnóstica

Mediante esta investigación se logra conocer la principal fuente de contaminación ambiental que presenta la Av. Guayaquil, esto se debe que en lugar aumentado el parque automotor en los últimos años, las emisiones de monóxido de carbono y material particulado (PM_{2.5}) emitidos por estos vehículos están ocasionando problemas de salud a la población.

3.5.2. Investigación documental

La investigación documental se basa en la revisión de libros, artículos científicos, tesis doctorales, entre otros para conocer sobre la contaminación atmosférica y a su vez los efectos provocados por las emisiones de monóxido de carbono y material particulado (PM_{2.5}), como también temas relacionados con sistema de monitoreo con la utilización de Raspberry Pi y Arduino.

3.6. Diseño de la investigación

El proyecto de investigación se trata de diseñar un sistema de monitoreo para la detección de contaminantes atmosféricos donde se seguirá la siguiente metodología:

3.6.1. Diseñar el sistema electrónico que permita el monitoreo de contaminantes atmosféricos.

3.6.1.1. Identificación de sistema

3.6.1.1.1. Embebidos

Se realizó las comparaciones de los diferentes sistemas embebidos que existen en el mercado verificando la disponibilidad y requerimientos que se necesitan para realizar el sistema, que permitirá monitorear contaminantes atmosféricos de tipo criterio como es el monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM_{2.5}).

En la tabla 3, se muestran diferentes sistemas que se encuentran en el mercado con sus respectivas características, dónde se escogieron dos sistemas, el primero porque permite almacenar y procesar los datos, por el contrario, el segundo sistema proporciona la comunicación con los sensores debido que cuenta con salida analógica.

Tabla 3 Diferentes sistemas embebidos

Sistemas embebidos	Almacenamiento	Ram	ETHERNET	GPIO	I²C	Consumo
Arduino Nano	Memoria flash de 32 KB	No	No	Si	No	5V
Raspberry Pi	Ranura para tarjetas MicroSD(hasta de 16GB)	512MB	Wifi 802.11n	Si	Si	5V
Pine H64 Model B	3 GB	512 MB	Gigabit Ethernet	Si	No	

Fuente: Autor

3.6.1.2. Mecanismo

Una vez identificados los sistemas embebidos a utilizarse en el proyecto de investigación, luego se procedió a escoger los mecanismos que permitan obtener información sobre los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos, lo cual se realizó por medio de sensores que son capaces de variar una propiedad ante magnitudes físicas o químicas, que luego serán transformadas por un transductor en variables eléctricas.

En la tabla 4, se detallan las características de los sensores que se empleó en la investigación, donde se tomó en cuenta la disponibilidad en el mercado y su velocidad de respuesta que tiene cada uno a la presencia de los diferentes tipos de contaminantes atmosféricos.

Tabla 4 Tipos de sensores

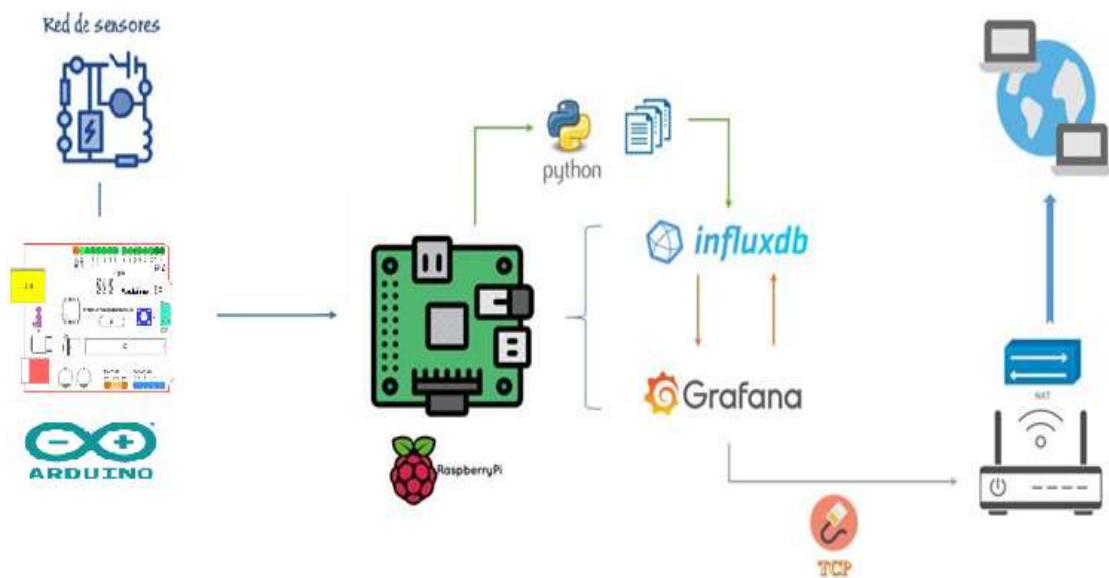
Sensores	Alimentación	Temperatura de Funcionamiento	Consumo de potencia
PMS3003	5V	20 ~ 50°C	0.5 mW
MQ-7	5V	-10 ~ 50°C	750 mW
GP2Y1010	3V	-10 ~ 65°C	20 mW
T6713	5V	-30 ~70°C	15 mW

Fuente: Autor

3.6.1.3. Diseñar el sistema

El dispositivo que va a permitir la recopilación de los datos es la Raspberry Pi, la cual se la conecta con el Arduino mediante el uso del protocolo I₂C que será el procesador de los datos de la información que le envía el sensor, dónde se empleó un script que se encuentra basado en Python en la cual la información obtenida por los sensores será almacenada en la base de datos InfluxDB, dónde está interconectada e guarda la información que se verá reflejada en la aplicación Grafana, para mostrar la información fuera de localhost se requiere de un router con IP pública basándose en el protocolo NAT.

Figura 7 Esquema del diseño del sistema



Fuente: Autor

3.6.1.4. Validación del sistema

Para la validación del sistema se consideraron dos aspectos fundamentales para conocer si el dispositivo se encuentra en perfectas condiciones antes de utilizarlo esta son: la estabilidad del dispositivo, comparación con otro dispositivo de calidad del aire.

3.6.1.4.1. Estabilidad del dispositivo

Se utilizó el dispositivo DT-9881M que permite medir concentraciones de material particulado que permitió comprobar el correcto funcionamiento del sistema electrónico diseñado. El dispositivo se lo mantuvo encendido durante 20 horas para verificar que no exista algún error que ocasione que los sensores interrumpan la comunicación con los puertos del sistema electrónico, dando como resultado un funcionamiento correcto.

Figura 8 Comprobación del funcionamiento del sistema



Fuente: Autor

Si llega existir algún error el código puede detectarlo y se reinicia automáticamente mediante el siguiente código en el cual envía una notificación a la base de datos “Tesis” indicándole el error por medio del correo electrónico.

```
client.create_database('Tesis')  
  
    client.write_points(json_sensores)  
  
except ConnectionError:  
  
    print('influxdb server not responding')  
  
    continue
```

3.6.1.4.2. Comparación con otro dispositivo

Para este proceso se lo realizó en dos escenarios, el primero fue en el Campus de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, el segundo a un vehículo para comprobar que el dispositivo de calidad del aire y los sensores muestren las mismas concentraciones para ser instalado en el área de estudio.

- **Campus de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo**

Dentro del Campus se analizó el material particulado (PM_{2.5}) con el sistema electrónico diseñado y el dispositivo DT-9881M donde los resultados obtenidos hubo un mínimo margen de error, debido que el dispositivo DT.9881M se obtuvo como resultado 4 µg/m³ y en cambio en el sistema se visualizó como resultado 4.07 µg/m³, en la figura 9 se muestran los dispositivos que se realizó la comparación dentro del Campus.

Figura 9 Dispositivos electrónicos para la medición de contaminantes atmosféricos



Fuente: Autor

- **Tubo de escape del vehículo Gran Vitara SZ año 2017**

Para realizar el respectivo monitoreo se debe encender el vehículo en la cual se debe esperar 5 minutos, para luego procede a monitorear como se muestra en la figura 10, el dispositivo DT-9881M su manera de funcionar es mediante la absorción del aire dónde lo procesa y luego en la pantalla se refleja el valor obtenido que fue de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el dispositivo que es por medio de sensores esta siempre en constante análisis cada segundos donde se obtuvo cómo resultado $13.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ esto se debe que el datasheet del sensor PMS3003 tiene un margen de error de $\pm 0.5 \%$.

Figura 10 Comprobación con los dos dispositivos



Fuente: Autor

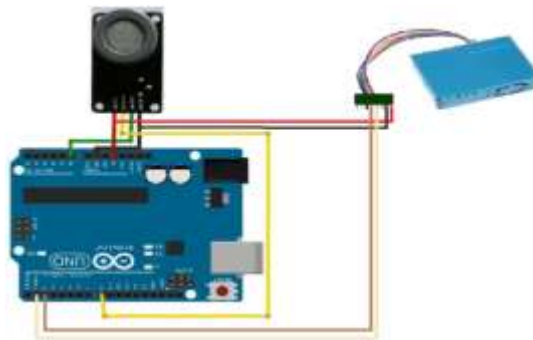
Mediante los resultados obtenidos en el proceso de comprobación entre los dos dispositivos, se puede decir que existe una diferencia significativa en los resultados de las concentraciones del material particulado, esto se debe que el sistema está basado en sensores tiene un margen de error y en cambio el otro dispositivo es industrial.

3.6.1.5. Instalación del sistema

3.6.1.5.1. Conexión del sensor al Arduino

Una vez seleccionados los dispositivos se procede a conectar los dos sensores que son el PMS3003 que es para material particulado y MQ-7 para monóxido de carbono, el arduino es el encargado de convertir las señales analógicas de los sensores a señales digitales, lo que permitirá que la Raspberry Pi pueda guardar los datos.

Figura 11 Conexión del arduino con los sensores



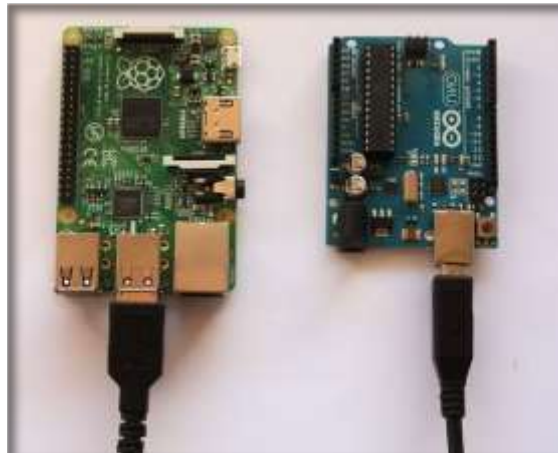
Fuente: Autor

Las conexiones de color rojo y negro son para 5V, mientras que el GND que es la alimentación de los sensores, el MQ-7 se conecta al arduino de forma analógica como también de forma digital debido que necesita de las dos conversiones para la lectura del contaminante CO. El sensor utiliza las dos señales, pero una no depende de la otra para obtener los valores de las concentraciones del material particulado, de manera que se lo conecta de modo que permita enviar señales digitales, quitándole una conversión analógica a digital al arduino que facilita la mejor calidad de la muestra.

3.6.1.5.2. Conexiones del arduino a la Raspberry Pi

La conexión se realizó mediante un cable USB que permite la comunicación serial, entre ambas partes especificando el maestro y esclavo, seguidamente se procede a realizar un pequeño código para conocer si existe comunicación abierta, el arduino debe leer el código para que la Raspberry Pi lo reconozca y responda cuando le pida una petición.

Figura 12 Conexión de Raspberry Pi con arduino



Autor: DescubreArduino.com

Fuente: <https://descubrearduino.com/comunicacion-serie/>

El siguiente código se ingresó en el arduino, que permitirá responder a la petición de la Raspberry Pi.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  Serial.println("Hola Pi");
  delay(2000);
}
```

En la Raspberry Pi se escribe el siguiente comando `ls/dev/tty*` de esta forma se comprobará si la puerta está abierta para la conexión con la Raspberry Pi, su nombre es `ttACMO` que es el puerto con el que se conecta al arduino y se utilizará para programar con Python.

El siguiente código es para comprobar la conexión entre Raspberry Pi como maestro y al arduino como esclavo.

```
from serial import Serial

ardu = Serial('/dev/ttyACM0', 9600, timeout=1)

while True:
    try:
        a = ardu.readline()
        print a
    except KeyboardInterrupt:
        break
ardu.close()
```

Este código enviará una petición de conexión mediante a la puerta ttvACMO si la conexión es correcta con el arduino responderá “Hola Pi”.

3.6.2. Desarrollar una aplicación web basada en IoT que muestre información de las concentraciones de contaminantes obtenidas por la red de sensores

El programa que se utilizará para realizar la aplicación web es Grafana que es un software libre que está basado en Apache¹ que permite la visualización de sistema gestores de datos basados en series de tiempo y el formato de datos métricos, en la cual permite crear cuadros de gráficos a partir de múltiples enlaces en este proyecto de investigación, se utilizará InfluxDB esta base de datos en series de tiempo estará en la Raspberry Pi, que permite guardar la información con menos retraso de tiempo con respecto a otras bases de datos.

3.6.3. Analizar los datos obtenidos de las concentraciones de material particulado (PM_{2.5}) y monóxido de carbono emitidos en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo

Se realizará el respectivo análisis de los datos generados y corregidos por el sistema de monitoreo con la *tabla 1, del anexo 4, del Libro VI Acuerdo ministerial 097-A de 4 de noviembre de 2015 edición especial N^a 387*, dónde se determinan las concentraciones de contaminantes de tipo criterio en la cual definen los niveles de alerta, alarma y de emergencia de la calidad del aire.

Las correcciones de las concentraciones se realizarán mediante la ecuación determinada en el numeral *4.1.2.3 del anexo 4, del Libro VI Acuerdo ministerial 097-A de 4 de noviembre del 2015 edición especial N^a 387*:

$$C_c = C_o * \frac{760 \text{ mmHg}}{P_{L\text{mmHg}}} * \frac{(273+t^{\circ}\text{C})^{\circ}\text{K}}{298^{\circ}\text{K}}$$

Donde:

C_c: concentración corregida

C_o: concentración observada

P_l: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio

t[°]C: temperatura local, en grados centígrados

¹ **El servidor HTTP Apache**: es un servidor web HTTP de código abierto, para plataformas Unix.

Tabla 5 concentraciones de contaminantes que definen los niveles de alerta, alarma y de emergencia en la calidad del aire en base al acuerdo tabla 1, del anexo 4 del libro VI acuerdo ministerial 097-A del 4 de noviembre del 2015 edición especial N.º 387

Contaminante y periodo de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de carbono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	400	600
Dióxido de nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1000	2000	3000
Dióxido de azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1000	1800
Material particulado PM10 Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250	400	500
Material particulado PM2.5 Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	250	350

Fuente: Ministerio del Ambiente (2015)

3.7. Tratamientos de datos

Los datos recopilados de los niveles de concentración de contaminantes de tipo criterio por medio del sistema de monitoreo, se aplicará un análisis exploratorio a los datos de monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM_{2.5}), como también se realizarán diagramas de cajas e histograma que se serán realizados en el programa R Studio.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Diseño del sistema electrónico que permita el monitoreo de contaminantes atmosféricos

4.1.1.1. Desarrollo del dispositivo electrónico mediante capa de procesos

4.1.1.1.1. Capa física

El sistema electrónico que permitió monitorear contaminantes atmosféricos, fue diseñado de la siguiente manera: la Raspberry Pi se encuentra conectada a 5 voltios y es la que proporciona la alimentación a todo el circuito, y a su vez está conectada al arduino mediante cable USB en la que permite que exista la comunicación I₂C. El arduino está conectado al sensor PMS3003, este sensor cuenta con 8 pines en las cuales los primeros pines son de alimentación y funciona con un voltaje de 5 voltios, cuenta con conexión a tierra (GND), los pines cuatro y cinco se conecta a la placa arduino para que exista una comunicación en serie.

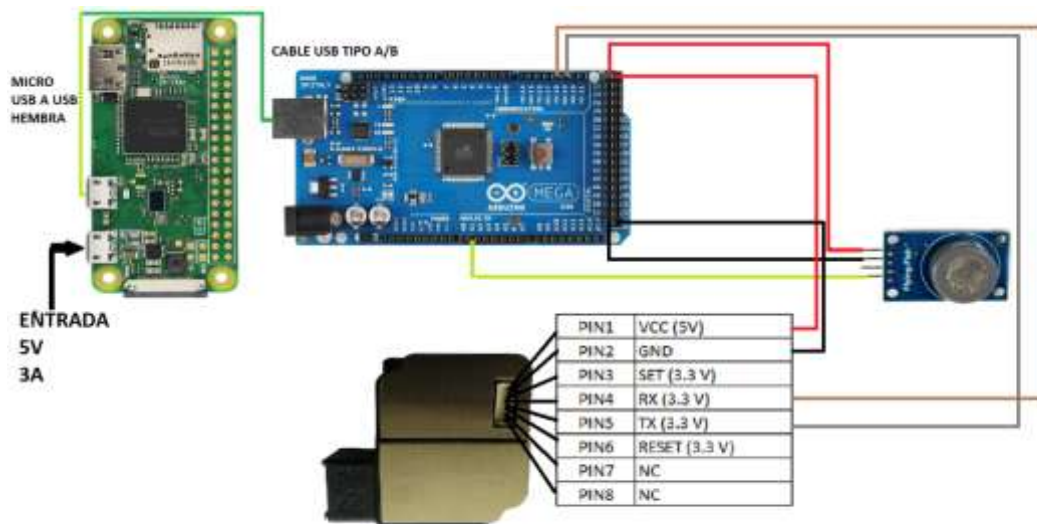
El sensor MQ-7 cuenta con cuatro pines, los dos primeros son de alimentación y funcionan con un voltaje de 5 voltios cuenta con conexión a tierra (GND), el cuatro pin es de tipo analógico que está conectado al arduino mediante el puerto A2 debido que es un puerto analógico.

- **Especificaciones de conexiones**

El arduino cuenta con una conexión en paralelo para mantener a los sensores con un voltaje de 5 voltios y con su respectiva conexión a tierra, el sensor MQ -7 se conecta al cuarto pin que tiene una distribución de 3.3 voltios, en la que facilita la comunicación con el arduino que se encuentra conectado al puerto A2.

El sensor PMS3003 cuenta con ocho pines, el primero de VCC con un voltaje de 5 voltios, el segundo pin es de GND estos puertos están conectados en serie con el arduino, el pin tres SET con un voltaje de 3.3 voltios que permite modificar los parámetros del material particulado por medio de un código por esa razón no se lo utiliza, el pin cuatro y cinco también cuenta con un voltaje de 3.3 voltios, dónde los puertos RX(datos) y TX(reloj) son aquellos que facilitan que exista una comunicación serial, estos pines se conectan a los puertos 18 y 19 del arduino, el pin seis permite reset a todas las configuraciones del sensor, mientras que los pines siete y ocho no tiene ninguna función dentro del sensor.

Figura 13 Todas las conexiones del sistema

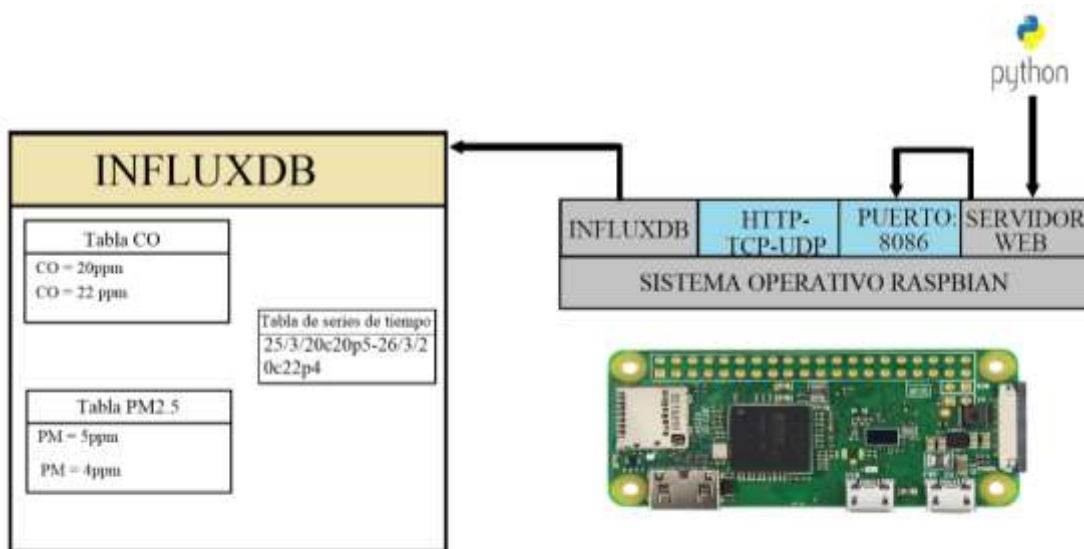


Fuente: Autor

4.1.1.1.2. Capa de proceso

En esta capa se utilizó InfluxDB que es una base de datos, de tipo servidor que se encuentra en constante funcionamiento y es compatible con la aplicación Grafana, esta base cuenta con los siguientes protocolos HTTP, TCP y UDP para la salida de datos. Debido que se trabaja con la Raspberry Pi, fue programada en Python, porque autoriza enviar una petición a InfluxDB, mediante el puerto de lectura o escritura que tiene la base de datos, cómo se observa en la Figura 14.

Figura 14 Proceso de almacenamiento y salida de datos

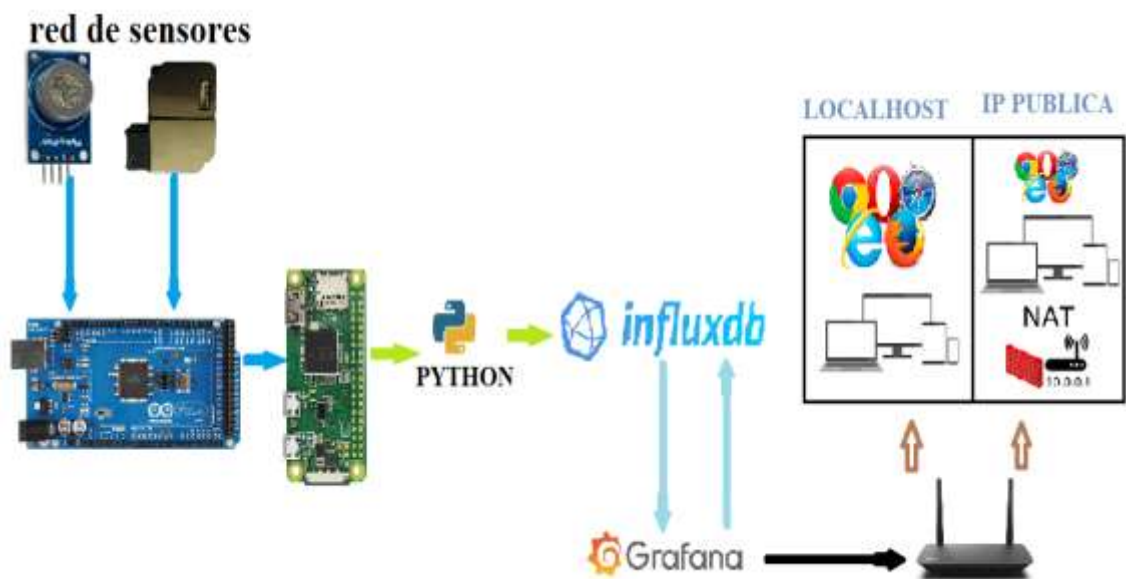


Fuente: Autor

4.1.1.1.3. Capa de aplicación

Los sensores MQ-7 y PMS3003 envían la información al arduino para que sea procesada, luego le realiza una serie de preguntas a la Raspberry Pi, donde confirma que se da una conexión estable, la información de (CO) y (PM_{2.5}) llega a la Raspberry Pi, donde se utilizó un Script que se encuentra basado en Python para ser almacenada en InfluxDB, esta base de datos en series de tiempo se conecta con Grafana para mostrar la información, de una manera organizada y que el usuario pueda interactuar con ella, estos datos pueden salir mediante localhost que es una dirección directa a la base de datos o tener una IP pública para poder ser transmitida a internet y se visualiza en diferentes lugares.

Figura 15 Sistema de procesamiento



Fuente: Autor

4.1.1.2. Base de datos

Se ingresó a la página influxdata.com para buscar la línea de comando que permitió descargar la base de datos InfluxDB, dependiendo de la versión del procesador ARM de acuerdo a la Raspberry Pi, que se está utilizando en la investigación, luego se debe copiar la línea de comando para descargar la base de datos, a continuación, se muestra el link de descarga:

```
curl -sL https://repos.influxdata.com/influxdb.key | sudo apt-key add-
```

4.1.1.2.1. Instalación de InfluxDB

Para instalar la base de datos primero se debe actualizar el sistema operativo Raspbian para que los directorios se activen y se lo realiza por los siguientes comandos.

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get upgrade
```

Una vez que se han actualizados los directorios se procede a instalar la base de datos mediante esta línea de comando.

```
sudo apt-get install influxdb
```

Se debe modificar el archivo de configuración que se encuentra en el directorio de la base de datos, esto se lo realiza para ser configurada a las prioridades del usuario, pero tomando en cuenta que se debe utilizar un editor de texto nano como se lo muestra a continuación:

```
sudo nano /etc/influxdb/influxdb.conf
```

En el cuadro de ejecución de la Raspberry Pi se escribe la línea de comando de InfluxDB, donde se ejecuta y muestra las interfaces de la base de datos, luego se utilizó la siguiente línea de comando, en la cual facilita crear un usuario y contraseña para que el administrador pueda realizar cualquier cambio.

```
CREATE USER admin WITH PASSWORD 'UTEQ2020' WITH ALL PRIVILEGES
```

4.1.1.3. Implementación del sistema electrónico

Una vez configurada la base de datos se procede a la construcción del sistema electrónico, en la cual estará compuesta de diferentes conexiones, con los distintos dispositivos seleccionados para su correcto funcionamiento.

4.1.1.3.1. Conexión a la Raspberry Pi

La Raspberry Pi tiene como función almacenar y mostrar la información adquirida de los sensores, tiene una alimentación de 5 voltios, en la cual se distribuye por todo el circuito mediante un adaptador tipo C a USB (hembra), como se muestra en la figura 13, este adaptador conecta al arduino, también se utiliza otro adaptador tipo B a USB (macho), que facilita la comunicación y alimentación eléctrica con la Raspberry Pi.

Figura 16 Conexión de la Raspberry Pi

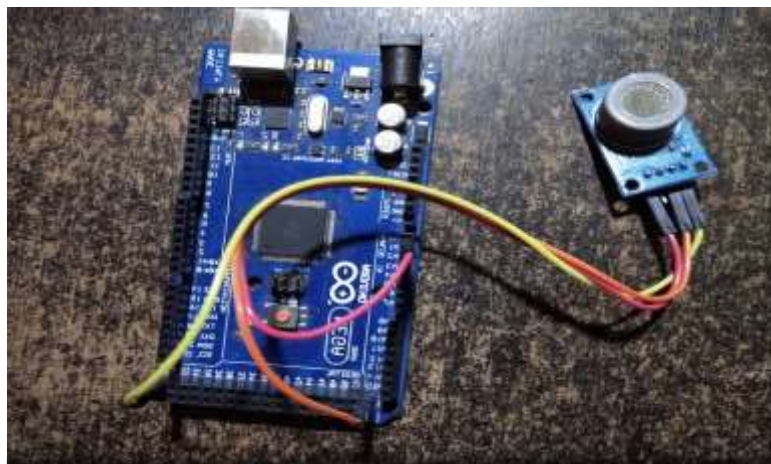


Fuente: Autor

4.1.1.3.2. Conexión del sensor MQ-7

El sensor MQ-7 se conecta con el arduino que tendrá una alimentación de 5 voltios y GND (conexión a polo negativo), el sensor se encuentra conectado en el puerto A1 del arduino en la cual proporciona comunicación, es de tipo analógico y tendrá una alimentación de 3.3 voltios.

Figura 17 Conexión del sensor con el arduino



Fuente: Autor

4.1.1.3.3. Conexión del sensor PMS3003

Los primeros pines del sensor del material particulado son de alimentación en la cual se encuentra conectado al arduino, el pin tres sirve para mantener el estado inactivo mediante programación el cual no se lo utiliza, el pin cuatro es RX(datos) que permite enviar la información con un voltaje de 3.3 voltios, el pin cinco TX(reloj) este permite la sincronización de los datos hacia el arduino, los puertos RX y TX permiten que exista una

comunicación en serie, el pin seis sirve para reiniciar el sensor con un voltaje de 3.3 voltios y los últimos no son necesario en el sistema.

Figura 18 Conexión del sensor PMS3003 con el arduino



Fuente: Autor

4.1.1.4. Programación del arduino

Se utilizo las librerías para poder controlar los dos sensores los cuales son los encargados de monitorear a los siguientes contaminantes atmosféricos que son el monóxido de carbono y el material particulado. La tercera librería permite que exista la comunicación entre el arduino y la Raspberry Pi.

```
#include "PMS.h"  
#include "MQ7.h"  
#include <avr/wdt.h>
```

Se declaran las variables y se coloca la velocidad con la que trabaja el sensor, cómo también la velocidad de comunicación entre los dos sistemas embebidos.

```
MQ7 mq7(A2,5.0);  
PMS pms(Serial1);  
PMS::DATA data;  
  
int numero=0;  
void setup()  
{  
  wdt_disable();  
  Serial1.begin(9600);  
  Serial.begin(9600);  
  numero=0;  
}
```

Para que exista la comunicación con la Raspberry Pi se generan una serie de preguntas y respuestas, que confirman que se encuentra habilitada para recibir los datos obtenidos de los sensores.

```

void loop()
{
  wdt_reset();
  String Opcion="";
  if (pms.read(data))
  {
    Serial.println("OK");
    while (Serial.available()==0)

    Opcion = Serial.readString();
    while (Opcion!="OK")
    {
      Serial.println("NO RUN");
      Serial.println("OK");
      while (Serial.available()==0)

      Opcion = Serial.readString();
    }
    Serial.println("RUN");
    while (Serial.available()==0)

    Opcion = Serial.readString();
    while(Opcion != "PM" and Opcion!="OC")
    {
      while (Serial.available()==0)

      Opcion = Serial.readString();
    }
  }
}

```

Una vez que exista la comunicación entre los sistemas embebidos se procede enviar los datos de los sensores.

```

if(Opcion=="PM"){
  Serial.println("PM");
  Serial.println(data.PM_AE_UG_2_5);
}
else{
  if(Opcion=="OC"){
    Serial.println("OC");
    Serial.println(mq7.getPPM());
  }
  else{
    Serial.println("ERROR");
    Serial.println(-99999);
  }
}
while (Serial.available()==0)

Opcion = Serial.readString();
while(Opcion != "PM" and Opcion!="OC")
{
  while (Serial.available()==0)

  Opcion = Serial.readString();
}
if(Opcion=="PM"){
  Serial.println("PM");
  Serial.println(data.PM_AE_UG_2_5);
}
else{
  if(Opcion=="OC"){
    Serial.println("OC");
    Serial.println(mq7.getPPM());
  }
  else{
    Serial.println("ERROR");
    Serial.println(-99999);
  }
}
}
}

```

El while se lo utiliza para que el programa repita todo el código infinitamente.

```
numero++;
if(numero == 3600){
    wdt_enable(WDTO_15MS);
    while(1);
}
}
```

4.1.1.5. Programación de Raspberry Pi

Se utilizaron las siguientes librerías que permiten que todo el código se pueda ejecutar, el serial permite la comunicación entre el arduino y la Raspberry Pi, el datetime se encarga de manipular las horas y las fechas, el time está relacionado con el tiempo dónde se encuentra estrechamente ligada con el datetime y la InfluxDB es la encargada de almacenar los datos.

```
import serial
import datetime
import time
from influxdb import InfluxDBClient
```

Estas líneas de código permiten la conexión entre la Raspberry Pi y el arduino, con una velocidad de 9600; el ttyACMO permite realizar funciones analógicas en la cual admite una serie de comandos.

```
ser = serial.Serial(
    port='/dev/ttyACM0',
    baudrate=9600,
    parity=serial.PARITY_NONE,
    stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
    bytesize=serial.EIGHTBITS,
    timeout=2
)
```

El arduino y la Raspberry Pi se comunican por medio de unas series de preguntas, el arduino es el encargado de generar las preguntas y la Raspberry Pi responde mediante “OK”, significa que existe una línea de comunicación abierta, el “RUN” específica que se encuentra lista para enviar los datos tomados de los dos contaminantes estudiados. El formato UTF-8 envía hacia el arduino las respuestas de manera codificadas en formato de lenguaje de programación. De la misma manera la Raspberry Pi realiza la pregunta sobre el contaminante que se desea obtener la información, el código el monóxido de carbono se lo representó de esta manera “OC” y del material particulado como “PM”.

```

while True:
    start = time.monotonic()
    ser.flushInput()
    PMS25=float(0)
    OC=float(0)
    while ser.inwaiting():
        r = ser.readline()
        r = r.strip()
        while((r.decode("utf-8")!="OK")):
            r = ser.readline()
            r = r.strip()
    e = "OK"
    e = e.encode("utf-8")
    ser.write(e)
    r = ser.readline()
    r = r.strip()
    e=r.decode("utf-8")
    print(e)
    while((r.decode("utf-8")!="RUN")):
        e = "OK"
        e = e.encode("utf-8")
        ser.write(e)
        r = ser.readline()
        r = r.strip()
        e=r.decode("utf-8")
        print(e)
    e = "PM"
    e = e.encode("utf-8")
    ser.write(e)
    r = ser.readline()
    r = r.strip()
    contador=0
    while((r.decode("utf-8")!="PM")):
        e = "PM"
        e = e.encode("utf-8")
        ser.write(e)
        r = ser.readline()
        r = r.strip()
        contador+=1
        if(contador>=5):
            ser.close()
            continue
    r = ser.readline()
    r = r.strip()
    pm=str(r.decode("utf-8"))
    PMS25=float(pm)
    print("PMS25: ", PMS25)
    e = "OC"
    e = e.encode("utf-8")
    ser.write(e)
    r = ser.readline()
    r = r.strip()
    contador=0
    while((r.decode("utf-8")!="OC")):
        e = "OC"
        e = e.encode("utf-8")
        ser.write(e)
        r = ser.readline()
        r = r.strip()
        contador+=1
        if(contador>=5):
            ser.close()
            continue
    r = ser.readline()
    r = r.strip()
    pm=str(r.decode("utf-8"))
    OC=float(pm)
    print("OC: ", OC)

```

El iso es una variable que guarda la información de manera cronológica, luego se utilizó un json que admite guardar la información en la base de datos InfluxDB, considerando las variables del código de la Raspberry Pi, con las variables de la base de datos.

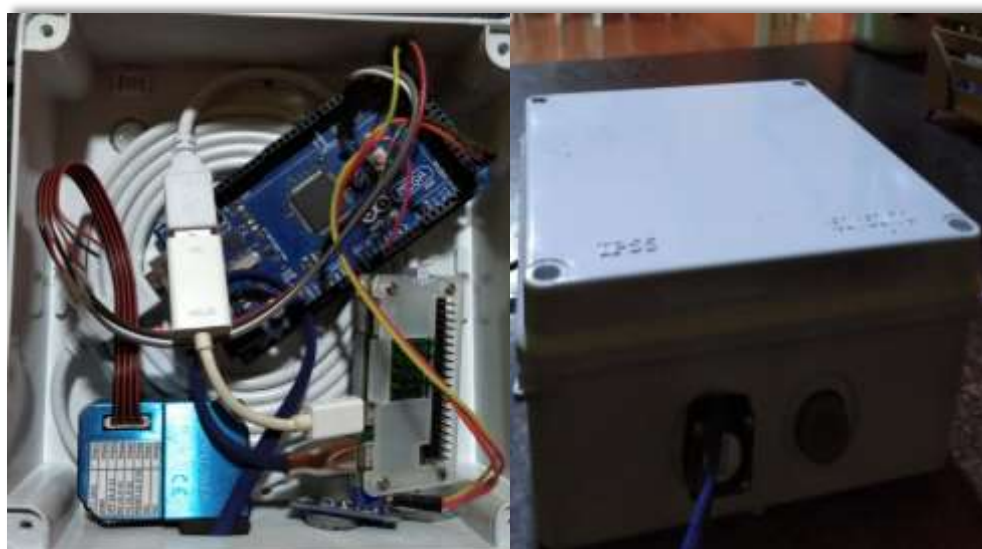
Para la base de datos se colocó la dirección IP de salida y el puerto 8086, otorgando un nombre a la base de datos y un tiempo para que se pueda conectar, cuando existe un fallo después de haber creado la base de datos y no existe una conexión, se intenta crear de nuevo una base de datos esto se repite tres veces, entonces el código deja de ejecutarse.

```
iso = datetime.datetime.utcnow().isoformat() + 'Z'
print(iso)
json_sensores = [
    {
        "measurement": "valores",
        "tags": {
            "Sensores": "Contaminacion",
        },
        "time": iso,
        "fields": {
            "PM2.5": PMS25,
            "CO": OC,
        }
    }
]
client = InfluxDBClient('127.0.0.1', 8086, 'admin', 'UTEQ2020',
'Tesis', timeout=60, retries=3)
try:
    client.create_database('Tesis')
    client.write_points(json_sensores)
except ConnectionError:
    print('influxdb server not responding')
    continue
end = time.monotonic()
total_time = end - start
print(total_time)
if(total_time<5):
    time.sleep(5-total_time)
```

4.1.1.6. Sistema electrónico completo

Conectando todos los cables con sus respectivos componentes queda como lo muestra la figura 19, el sistema electrónico está colocado en una caja para la protección del circuito, donde se instaló en la Av. Guayaquil para monitorear contaminantes de tipo criterio, los datos obtenidos serán visualizados en la aplicación web Grafana.

Figura 19 Sistema electrónico basado en sistemas embebidos



Fuente: Autor

4.1.1.6.1. Validación de sistema con el dispositivo DT-9881M

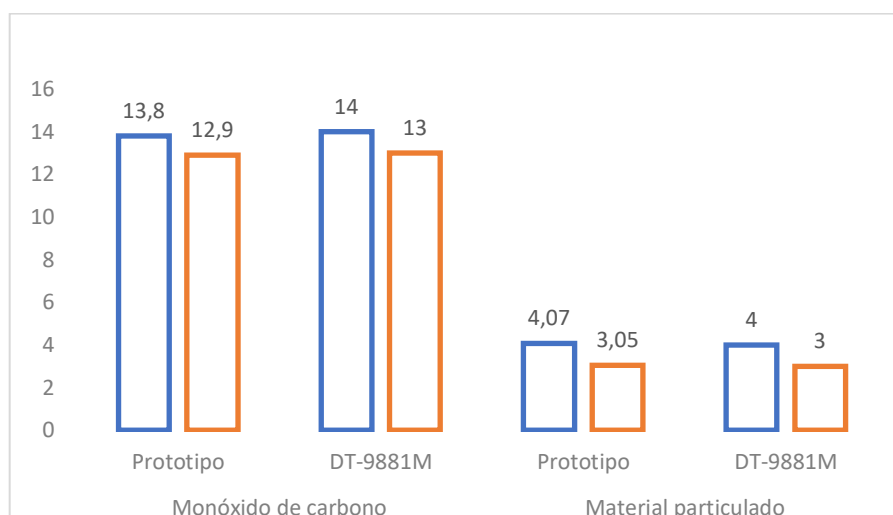
De acuerdo al monitoreo realizado en los dos escenarios el 12 de febrero del 2020, con el dispositivo DT.9881 que fue detalla en la metodología, en la siguiente tabla 6, muestra la comparación de los dos dispositivos empleados, donde se calculó la varianza, desviación estándar y coeficiente de variación.

Tabla 6 Validación de sistema

Sensores	Instrumentos	Datos		varianza	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Monóxido de carbono	Prototipo	13.8	12.9	0,5	0,7	0,1
	DT-9881M	14	13			
Material particulado	Prototipo	4.07	3.05	0,3	0,6	0,2
	DT-9881M	4	3			

Fuente: Autor

Figura 20 Validación del sistema



Fuente: Autor

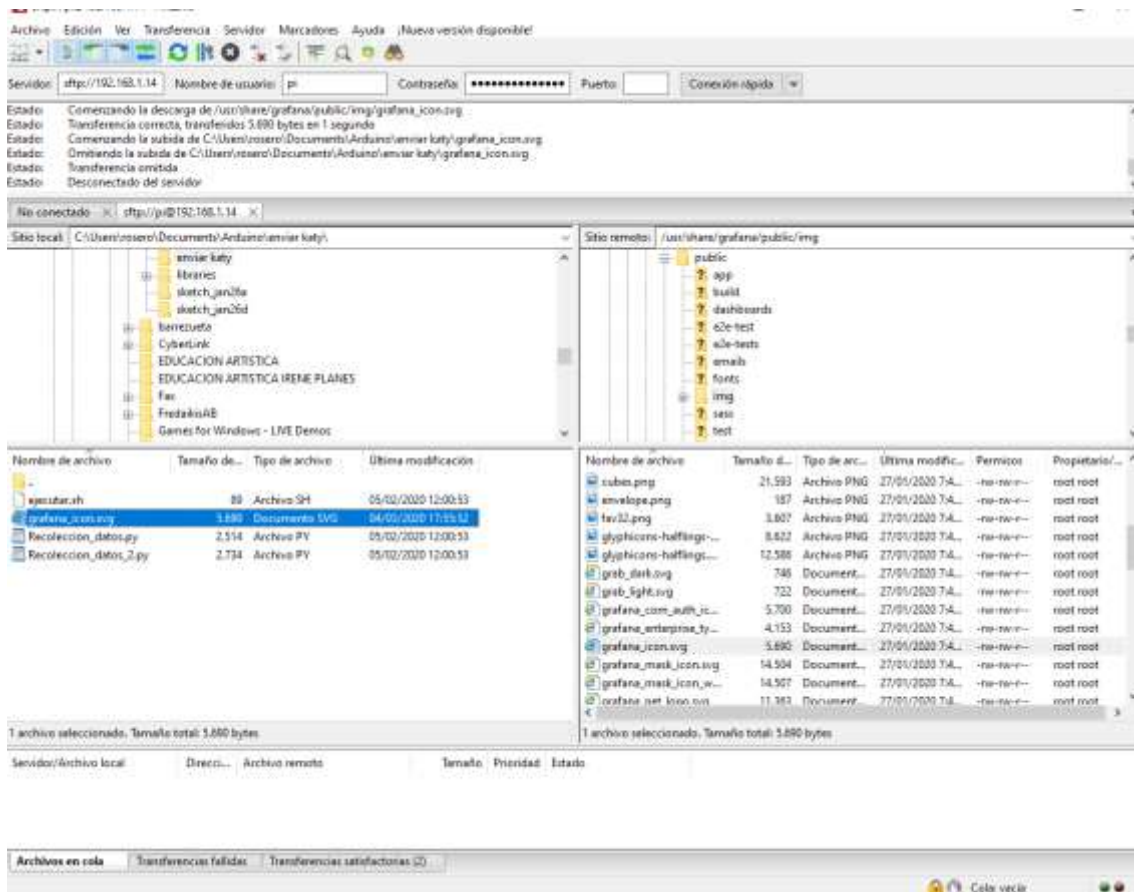
4.1.2. Modificar una aplicación web basado en IoT

4.1.2.1. Cambio de icono de la aplicación Grafana

Para cambiar los iconos de Grafana se utilizó la aplicación FileZilla, donde se ingresó la IP de la Raspberry Pi, la cual es la siguiente `sftp://192.168.1.14`, luego solicita el usuario y la contraseña como se muestra en la figura 20.

La aplicación FileZilla permite transferir archivos de un ordenador a la Raspberry Pi, pero tomando en cuenta los permisos del administrador, debido que la aplicación no posee los permisos, para transferir las imágenes se debe guardar en documentos de la Raspberry Pi y mediante líneas de comando en la cual se debe especificar la palabra SUDO para que tenga permiso del administrador y de tal manera guarde los archivos del proceso, se lo debe realizar cuando el usuario desee cambiar los iconos de la aplicación Grafana.

Figura 21 Pantalla principal de FileZilla



4.1.2.2. Creación de Token y paneles

La creación de Token es para acceder a todas las acciones de la cuenta y sus respectivos paneles, para crear un Token se lo realiza por medio de la siguiente línea de comando:

```
bash curl -X POST -H "Content-Type: application/json" -d '{"name":"apikeycurl"
```

```
{"name":"apikeycurl","key":"eyJrIjoiR0ZXZmt1UFc0OEpIOGN5RWdUalBJTlIUtk"
```

4.1.2.2.1. Creación de tableros

Para crear un tablero se debe utilizar el usuario y contraseña del Token, al exportar el tablero hacia internet se debe emplear el formato Json y guardar como salida del mismo formato por medio de una aplicación, a continuación, se muestra el código para crear los tableros:

```

eyJrIjoiR0ZXZmt1UFc0OEplOjN5RWdUalBJTlIUtK83VlhtVGwiLCJ1IjoiYXBpa2V5Y3VybCIsI
mlkljo2fQ==" -H "Content-Type: application/json" -d '{
  "dashboard": {
    "id": null,
    "title": "Production Overview",
    "tags": [ "templated" ],
    "timezone": "browser",
    "rows": [
      {
      }
    ],
    "schemaVersion": 6,
    "version": 0
  },
  "overwrite": false
}'

```

4.1.2.2.2. Guardar datos

Se debe contar con una ubicación para almacenar los datos, si no existe la dirección estos se pierden cada vez que se cargue la imagen ISO, dónde se debe tener previamente un almacenamiento fijo, se ejecuta la siguiente línea de código:

```
docker volume create grafana-storage
```

Esta línea de código permite crear un volumen fijo de datos dentro de la carpeta librería

```
docker run -d -p 3000:3000 --name=grafana -v grafana-storage:/var/lib/grafana
grafana/grafana
```

Este código permite ejecutar lo creado con los parámetros ya establecidos y la dirección donde se guarda la información.

4.1.2.3. Autenticación básica

Grafana envía solicitudes HTTP a través de la autenticación básica estándar mediante el siguiente enlace:

```
http://admin:admin@localhost:3000/api/org {"id":1,"name":"Main Org."}
```

El Token API también se lo puede utilizar como una contraseña de un usuario especial `api_key` como se muestra en la siguiente línea:

```
http://api_key:eyJrIjoiT0tTcG1pUIY2RnVKZTFVaDFsNFZXdE9ZWmNrMkZYbk@localhost:3000/api/org
```

4.1.2.3.1. API de Grafana

El API sirve para crear y actualizar grupos de ingresos, dónde el administrador tiene la función de controlar todas las acciones para el ingreso a la aplicación, mediante las siguientes líneas de comandos:

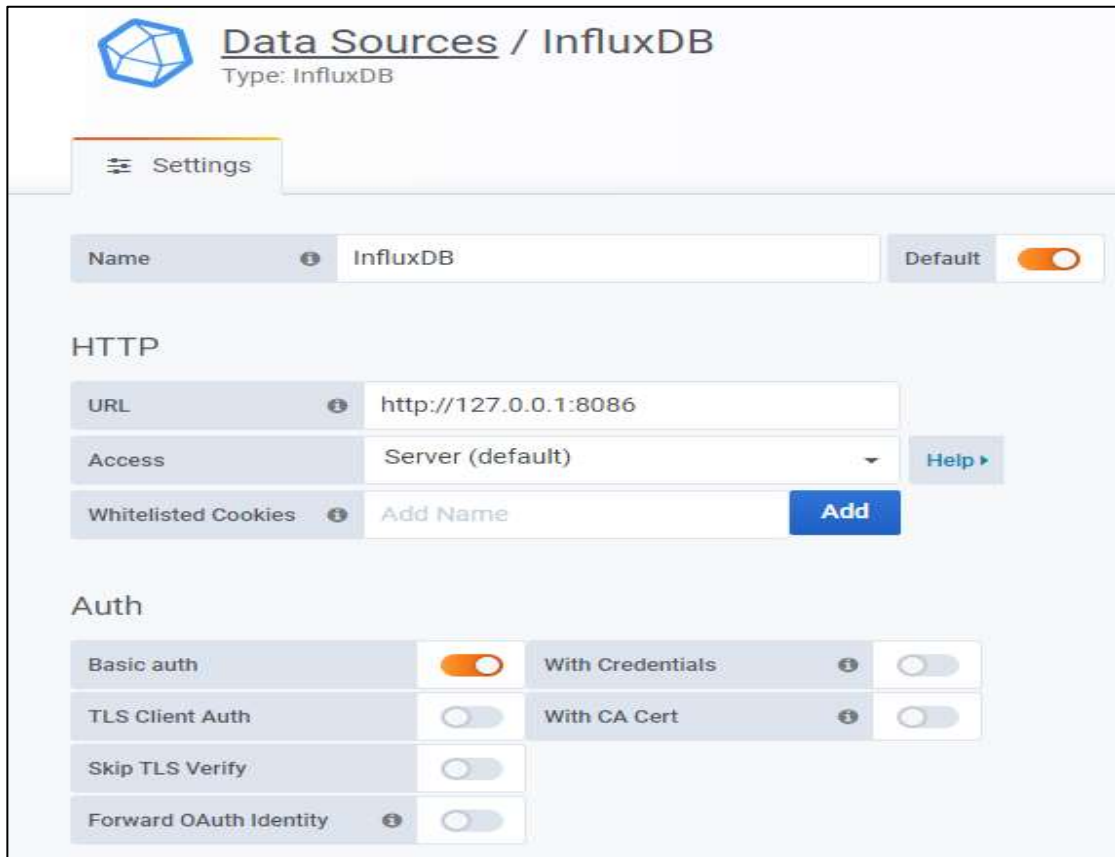
```
GET /api/teams/search?perpage=10&page=1&query=myteam HTTP/1.1
Accept: application/json
Content-Type: application/json
Authorization: Basic YWRtaW46YWRtaW4=
```

La aplicación Grafana cuenta con las siguientes opciones como grupos de usuarios, gráficos, data sources, API keys y a su vez cuenta con la vinculación usuario-administrador tal como se lo realizó en el paso anterior.

4.1.2.4.1. Data sources

Esta opción vincula la base de datos InfluxDB con Grafana, donde se utilizó el URL `Hostname`, para el acceso se eligió el tipo de servidor y para los demás campos se utilizaron los datos antes agregados en la InfluxDB para que Grafana tenga acceso a la información.

Figura 22 Configuración de Data sources

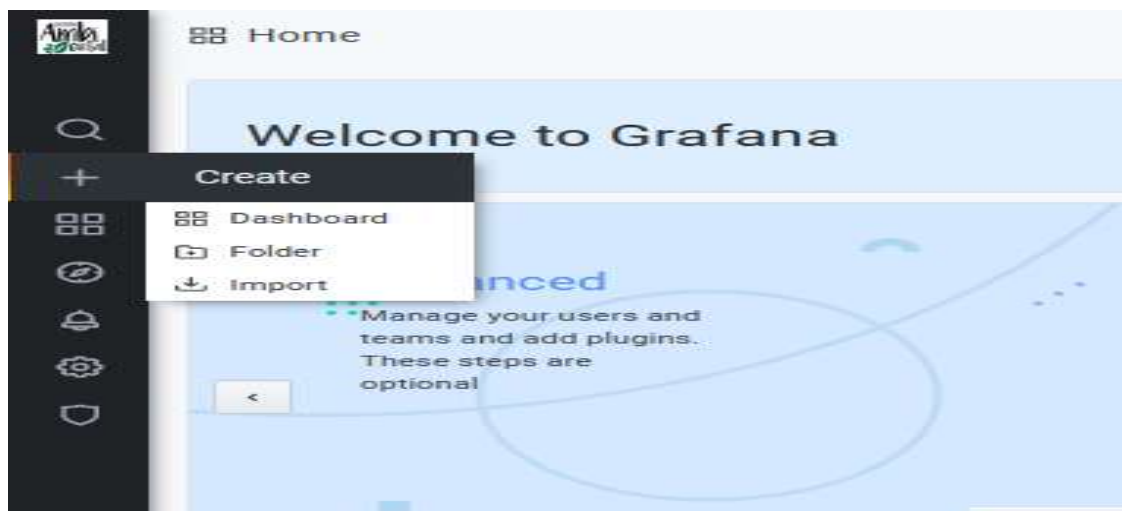


Fuente: Autor

4.1.2.4.2. Creación Dashboards

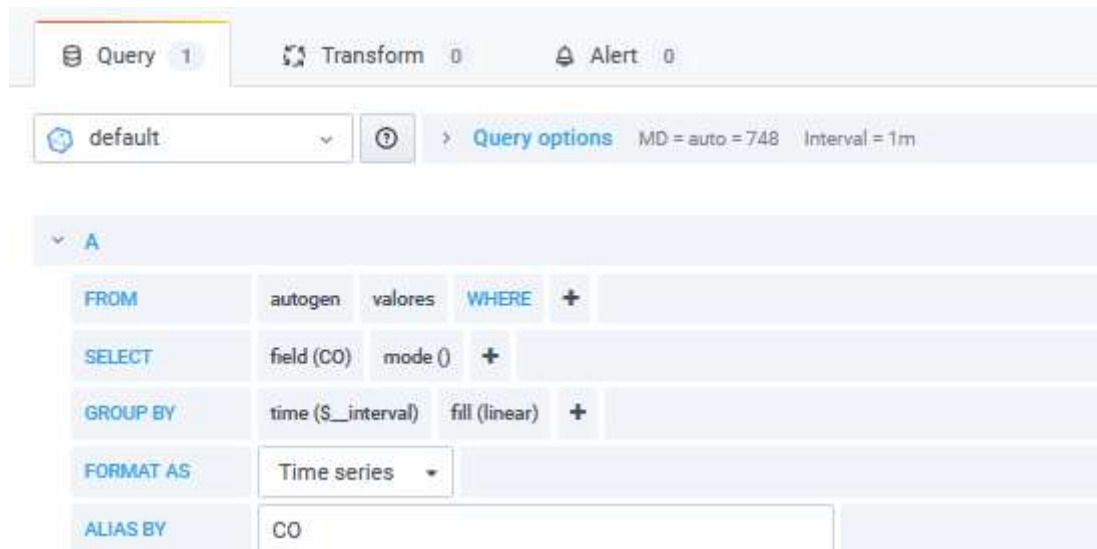
En la opción Dashboards que se encuentra en parte izquierda de la pantalla, como se muestra en la figura 22, la cual facilita la creación de tableros para visualizar los gráficos que se generan a partir de la información que se encuentra en la base de datos.

Figura 23 Dashboards



Fuente: Autor

Figura 26 Configuración del panel

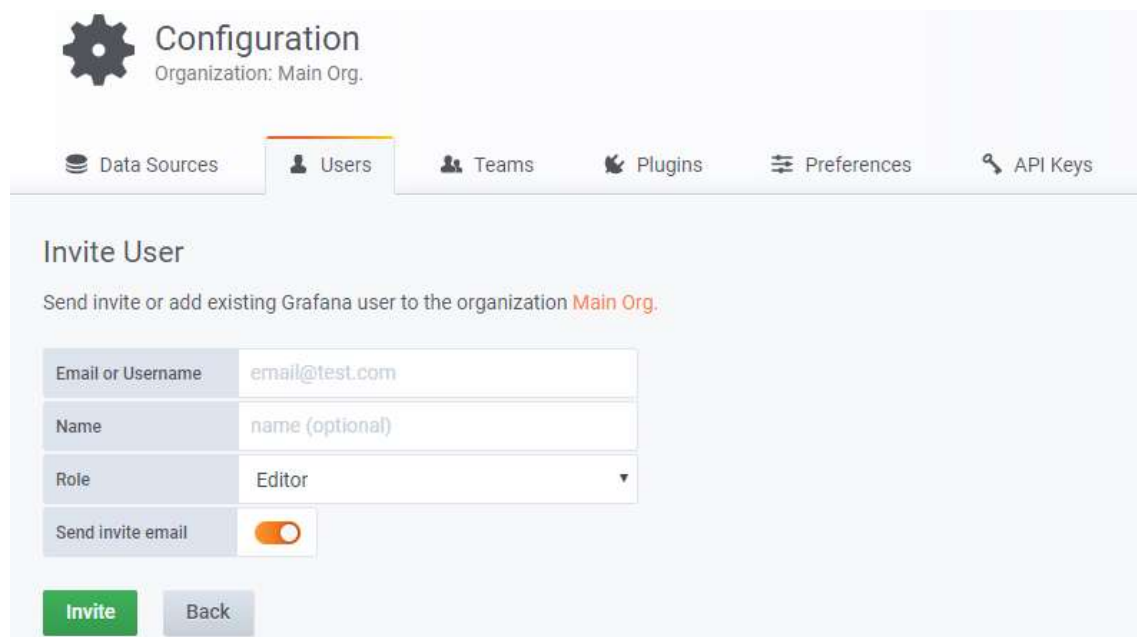


Fuente: Autor

4.1.2.4.3. Usuarios

Cuando se instala Grafana automáticamente se crea un usuario el cual será Admin por defecto, al ingresar a la aplicación este solicita que se cambie el usuario y que se establezca una contraseña, otras de las opciones que cuenta es que se puede invitar a usuarios mediante correo electrónico, por nombre y los permisos que obtiene cada usuario.

Figura 27 Opción para usuarios



Fuente: Autor

4.1.3. Análisis de los datos obtenidos de las concentraciones de contaminantes de tipo criterio

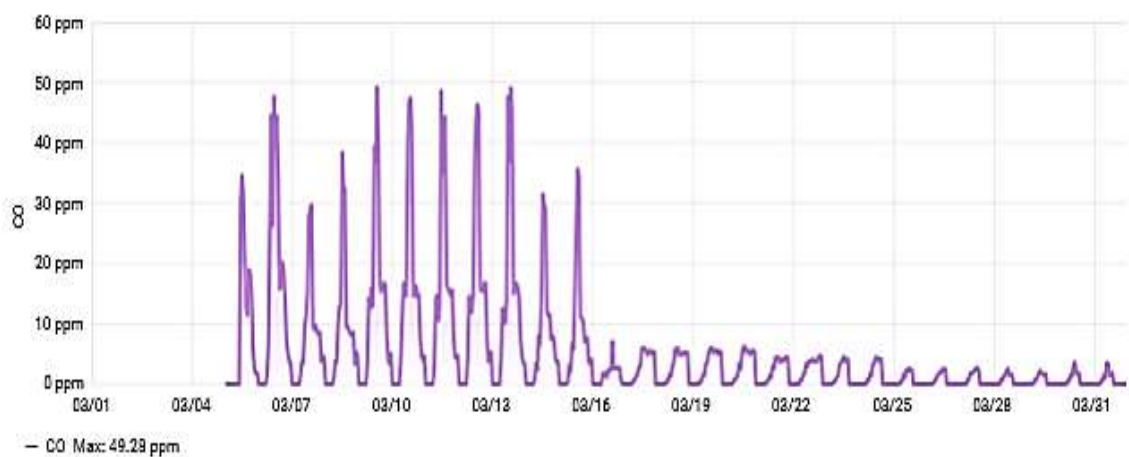
4.1.3.1. Interpretación de los datos de monóxido de carbono (CO)

Para la recopilación de los datos sobre la concentración del monóxido de carbono, se instaló el sistema electrónico en la Av. Guayaquil en el poste frente al Jhonny Bar, se comenzaron a tomar los datos a partir del 5 de marzo, estos datos fueron visualizados en Grafana para verificar si cambian o no los niveles de concentración de los contaminantes estudiados durante los 2 meses de monitoreo. A continuación, se muestran los gráficos de los niveles de CO, donde se obtuvieron los siguientes valores:

- **Datos correspondientes al mes de marzo**

Los valores obtenidos de los niveles de monóxido de carbono medidos en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo; correspondiente al mes de marzo, se comenzaron a tomar los datos a partir del 5 de marzo desde las 11:00am, donde se puede observar que se presentó un nivel más alto durante todo el mes fue de 49.28ppm, sin embargo, se refleja una reducción de CO en la gráfica debido a las restricciones vehiculares por parte del COE Nacional y poca movilización de personas en las calles por la pandemia que se presenta en el país. Con respecto a los límites de exposición de monóxido de carbono de acuerdo con la normativa se puede determinar que se encuentra dentro del rango admisible para la salud humana, debido que el pico presentado en este mes no puede causar afectaciones.

Figura 28 Niveles de contaminación de CO en un mes

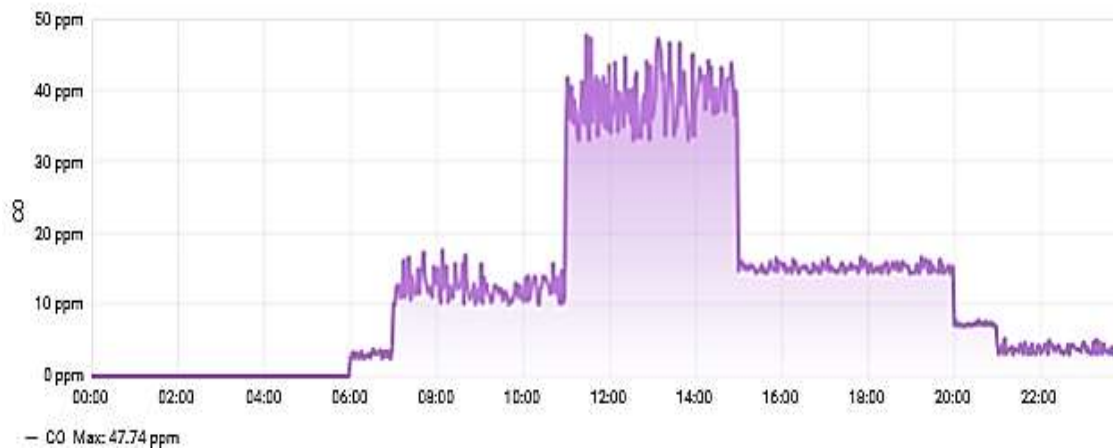


Autor: Kerly Piloza

Fuente: La Investigación

Por otro lado, se optó por analizar los niveles de monóxido de carbono en un día específico que fue el 13 de marzo, para observar el comportamiento que tiene este gas en el ambiente de la Av. Guayaquil en el lapso de 24 horas, para verificar si en las horas de mayores concurrencias o intermedias existen el mismo nivel de concentración de CO. A continuación, se muestra el gráfico con los valores de niveles de concentración de CO recopilados el viernes 13 de marzo del 2020.

Figura 29 Niveles de CO en 24 horas



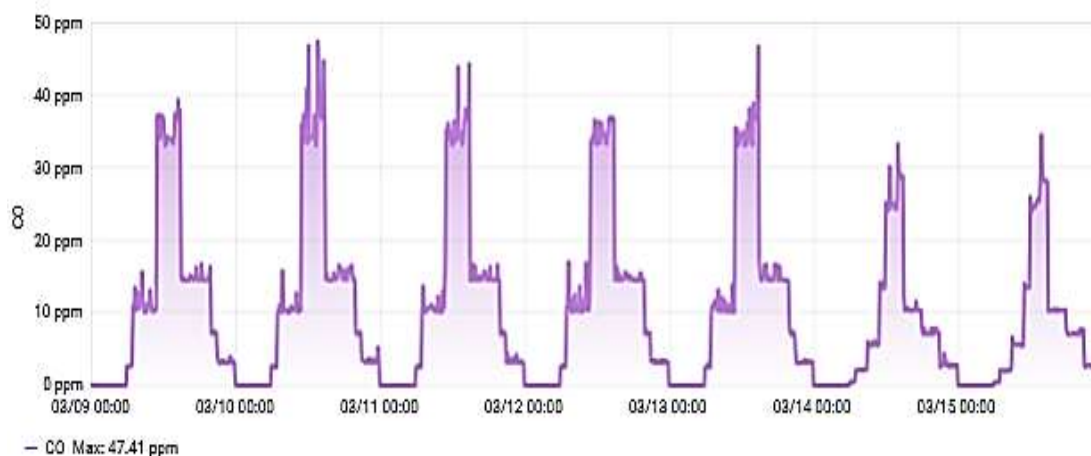
Autor: Kerly Piloza

Fuente: La Investigación

Se puede determinar que durante este día el nivel de CO presentado en esta avenida alcanzó su máximo alrededor de las 12:30:01 pm con 47.74 ppm y su mínimo fue a las 06:05:00am con un valor de 15 ppm.

A continuación, se muestra el gráfico de los datos recopilados durante una semana correspondiente a las siguientes fechas: del 9 de marzo al 15 del mismo mes, dónde se puede observar las variaciones de los niveles de CO en las distintas jornadas, en la cual se obtiene un pico de 47.41 ppm, cabe mencionar que existe una relación con el factor climático debido que los niveles de CO suben cuando existe mayor radiación solar, como también al aumento de la circulación vehicular.

Figura 30 Niveles de CO en una semana



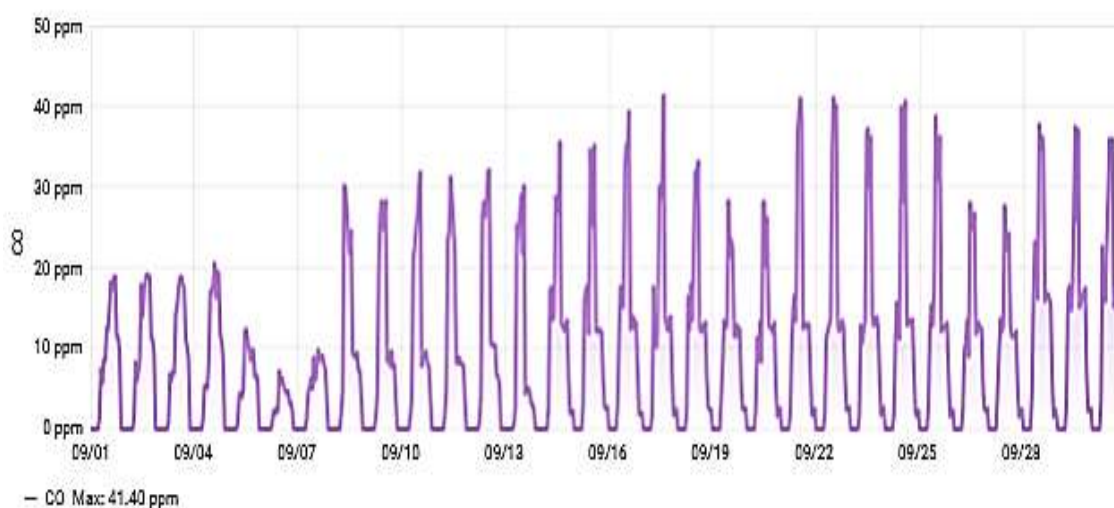
Autor: Kerly Pilozo

Fuente: La Investigación

- **Datos correspondientes al mes de septiembre**

Por otra parte, se realizó la recopilación de datos correspondientes al mes de septiembre para verificar si existe una variación de los niveles de monóxido de carbono, en comparación con el mes de marzo, en la gráfica se puede observar que el sistema electrónico instalado en la Av. Guayaquil; monitorea este contaminante de tipo criterio desde el 01 de septiembre hasta 30 del mismo mes, donde se obtiene un valor máximo a las 14:00:00 pm con un valor de 41.40 ppm y un valor mínimo a las 06:30:00 am con un valor de 17.66 ppm, los niveles de monóxido suben dependiendo de ciertos factores como el aumento del tráfico vehicular, el factor clima y la movilización de las personas.

Figura 31 Niveles de CO en un mes

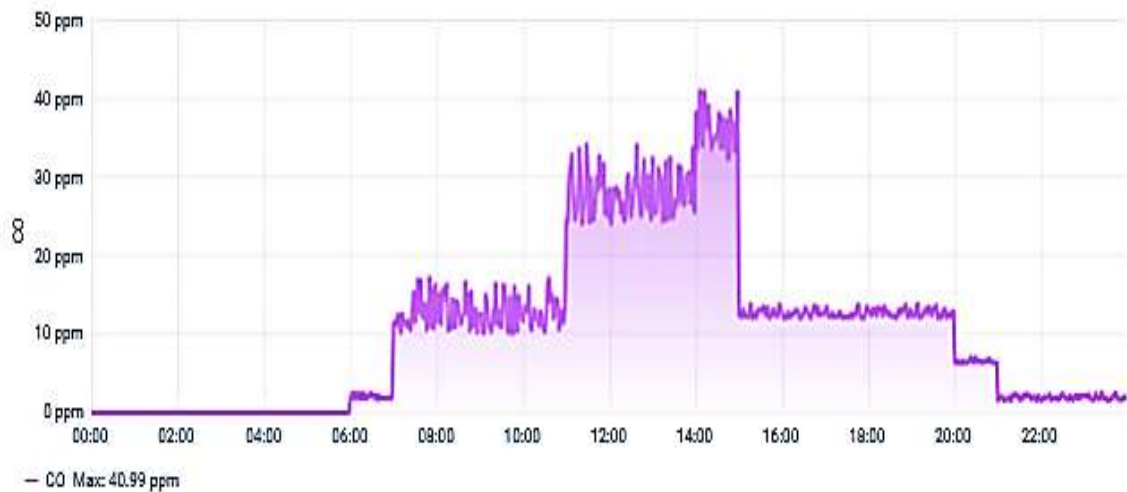


Autor: Kerly Pilozo

Fuente: La Investigación

En la gráfica anterior se puede observar el comportamiento que tiene el monóxido de carbono durante un mes, a continuación, se muestra los niveles de concentración de este contaminante el día jueves 17 de septiembre, dónde se obtuvo un valor máximo a las 14:10:00pm con un valor 40.99 ppm y un valor mínimo a las 07:11:00 am con un valor de 11.24 ppm.

Figura 32 Niveles de CO en 24 horas

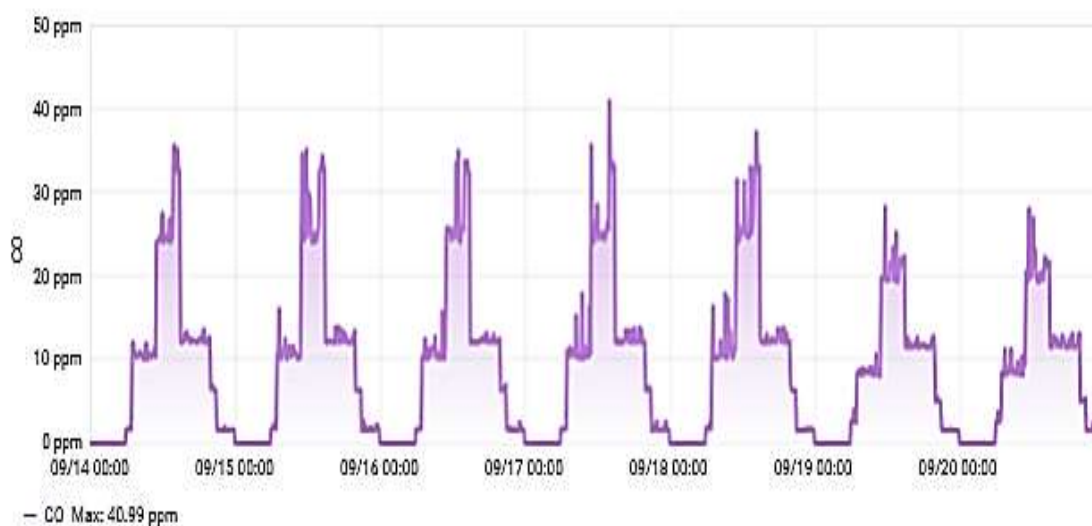


Autor: Kerly Piloza

Fuente: La Investigación

Los niveles de monóxido de carbono medidos en esta avenida a partir del 14 al 20 de septiembre, se puede observar que existe variaciones de los niveles de CO, dónde existe un valor máximo a las 14:10:00pm con un valor 40.99 ppm y un valor mínimo a las 07:11:00 am con un valor de 11.24 ppm, el valor máximo ocurrió justamente el 17 de septiembre como se muestra en la ilustración anterior.

Figura 33 Niveles de CO en una semana



Autor: Kerly Piloza

Fuente: La Investigación

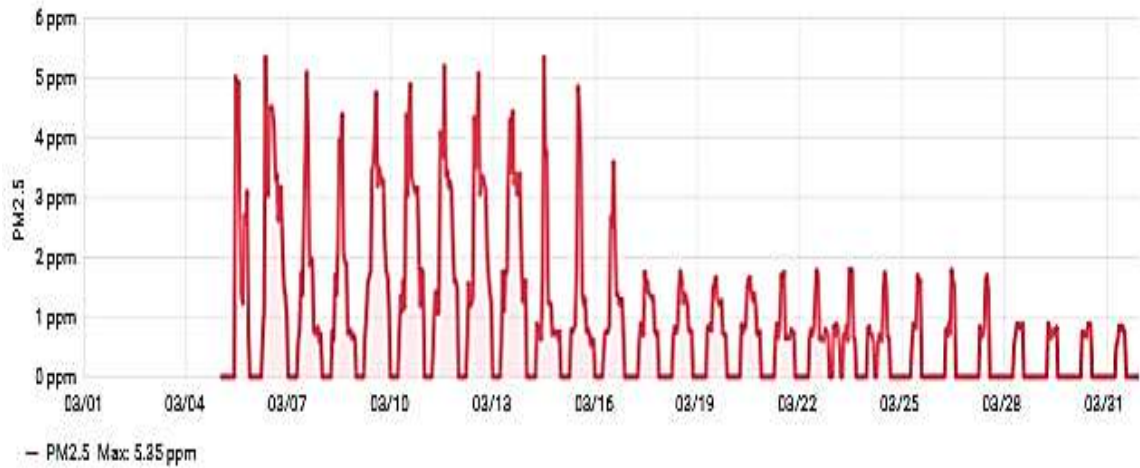
4.1.3.2. Interpretación de los datos de material particulado (PM_{2.5})

En el monitoreo realizado durante los dos meses por el sistema electrónico, en la cual consistió en recopilar los datos sobre los niveles de concentración de material particulado (PM_{2.5}). A continuación, se muestran los gráficos de los valores obtenidos por el sistema.

- **Datos correspondientes al mes de marzo**

A continuación, se puede observar el comportamiento que tiene el material particulado (PM_{2.5}) en la Av. Guayaquil durante un mes, donde se obtuvo un valor máximo el día 6 de marzo a las 09:34:00 am con 5.35ppm y un valor mínimo de 0.41 ppm, se refleja una reducción por diferentes causas, una es por la disminución del tráfico vehicular por las restricciones planteadas por el COE Nacional y a las actividades de los ciudadanos por la cuarentena que se efectuó por la pandemia para reducir el riesgo de contagio. Con respecto a los límites de exposición determinado por la normativa se encuentra dentro de rango aceptable para la salud humana.

Figura 34 Niveles de PM_{2.5} durante un mes

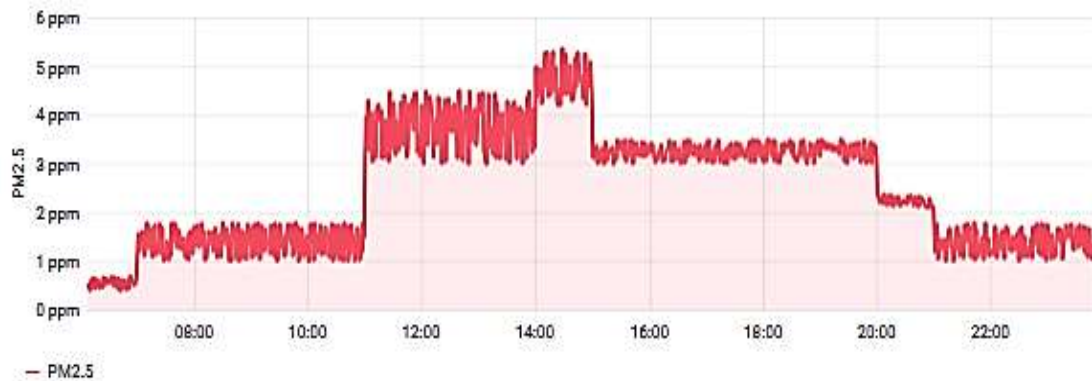


Autor: Kerly Pilozo

Fuente: La Investigación

Por otro lado, se realizó el análisis de niveles de material particulado (PM_{2.5}) presentado el día 13 marzo, dónde se puede observar que existió un pico máximo a las 14:28:00 pm con un valor 5.36 ppm y un valor mínimo que fue a las 06:30:00 am con valor 0.40 ppm.

Figura 35 Niveles de PM_{2.5} en 24 horas

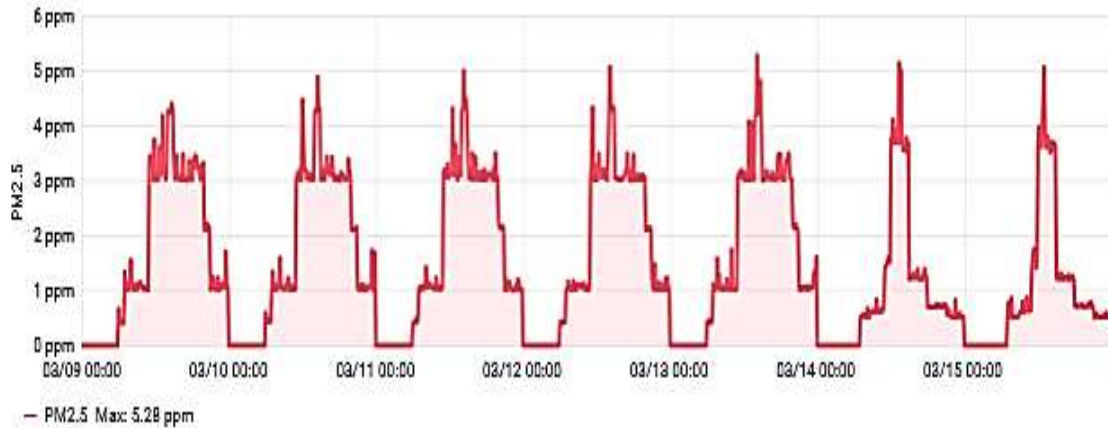


Autor: Kerly Pilozo

Fuente: La Investigación

Se realizó un análisis para determinar si existe variaciones del material particulado (PM_{2.5}) en el transcurso de una semana, a continuación, se muestran los datos recopilados desde el 09 al 15 de marzo, dónde presentó un valor máximo a las 14:00:00 pm con un valor de 5.28 ppm y un valor mínimo a las 06:30:00 am con un valor de 0.41 ppm.

Figura 36 Niveles de PM_{2.5} durante una semana



Autor: Kerly Pilozo

Fuente: La Investigación

- **Datos correspondientes al mes de septiembre**

Se realizó una recopilación de datos sobre los niveles de material particulado correspondiente al mes de septiembre, para observar el comportamiento de esta partícula y constatar si existe variaciones con los niveles presentado en el mes de marzo, dónde se puede estimar que presenta un valor máximo el día jueves 17 de septiembre a las 17:30:00 pm con un valor de 5.36 ppm y un mínimo de a las 07:20:00 am con un valor de 1.61ppm. Se cabe mencionar que en este mes finalizó el estado de excepción que presentaba el país, dónde término la restricción vehicular y existe mayor movilización de personas. De acuerdo con los límites de exposición planteado en el anexo 4, se encuentra el rango aceptable y no puede causar afectaciones a la salud humana.

Figura 37 Niveles de PM_{2.5} durante un mes

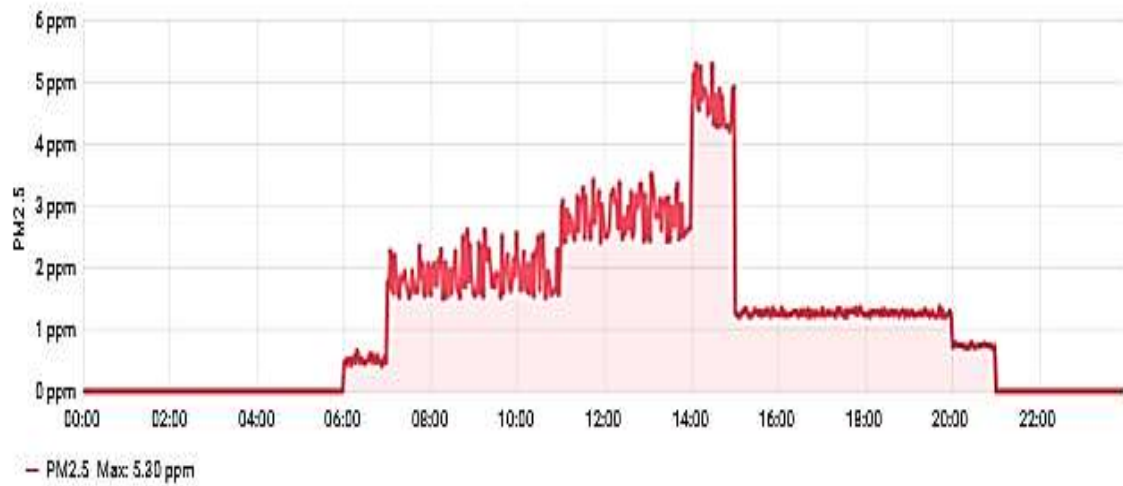


Autor: Kerly Pilozo

Fuente: La Investigación

Por otro lado, también se analizó el comportamiento que tiene esta partícula durante un día, donde se puede observar en la gráfica que existe un valor máximo de 5.30 ppm el día 17 de septiembre a las 14:30:00 pm, sin embargo, hubo una reducción de los niveles de (PM_{2.5}) llegando a 0.40 ppm cuando el dispositivo detecta que hay poca movilización.

Figura 38 Niveles de PM_{2.5} durante 24 horas

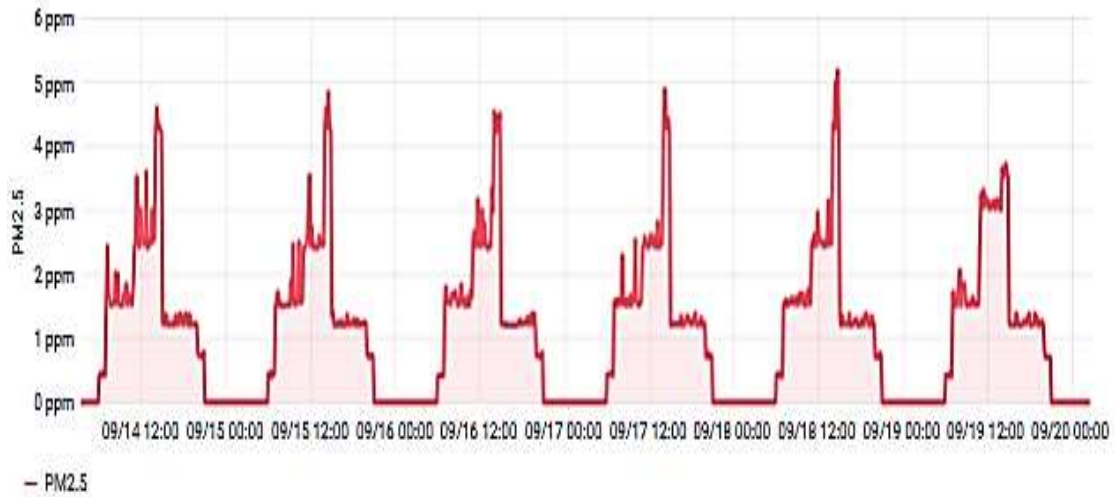


Autor: Kerly Pilozo

Fuente: La Investigación

También se realizó el análisis de una semana para determinar si existe variaciones del material particulado con los demás días monitoreados, se consideró la semana del 14 al 20 de septiembre, donde se obtuvo como valor máximo a las 14:30:00 pm con un valor de 5.18 ppm y un valor mínimo de 0.43 ppm. Se debe considerar que en esta semana ya no hay restricción vehicular y existe mayor movilización de ciudadanos a pesar de que las escuelas, colegios y la universidad sus clases son online. Los niveles de concentración de material particulado (PM_{2.5}) se mantuvieron dentro del rango admisible para la salud humana.

Figura 39 Niveles de PM_{2.5} durante una semana



Autor: Kerly Pilozo
Fuente: La Investigación

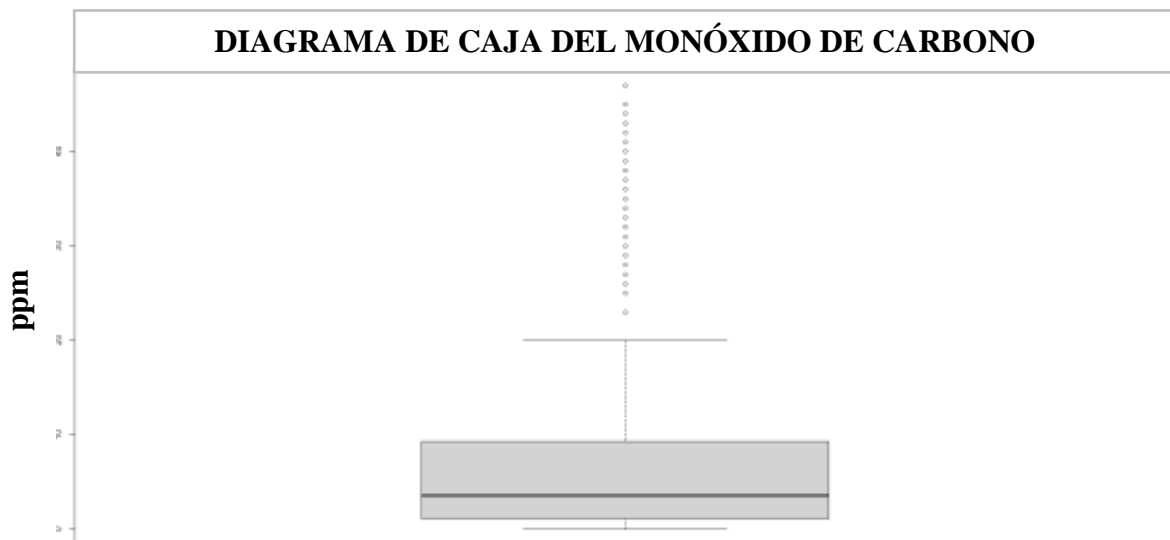
- **Análisis de los datos en el programa R Studio**

Tabla 7 Análisis de monóxido de carbono

Monóxido de Carbono						
Mínimo	Primer cuartil	Mediana	Media	Tercer cuartil	Máximo	Desviación estándar
0	1.10	3.6	7.41	9.20	47.00	10.34

Fuente: Autor

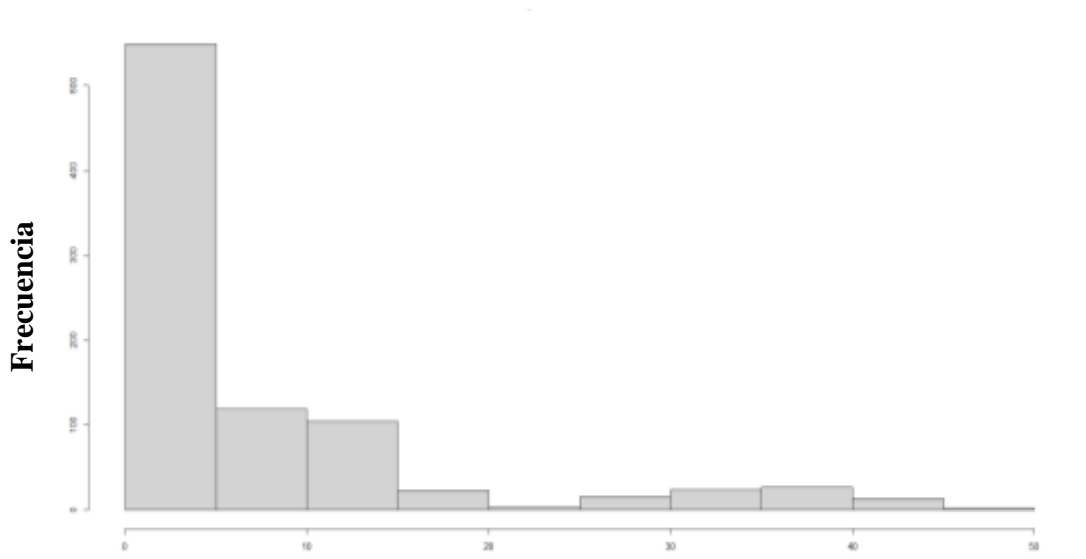
Figura 40 Diagrama de caja para los niveles de monóxido de carbono



Fuente: Autor

El diagrama de cajas permite observar la distribución que tiene el monóxido de carbono (CO) durante el tiempo de monitoreo, en la siguiente gráfica se puede constatar que el 100% de los datos normales se encuentran dentro del rango de 0 a 20 ppm, en el primer cuartil representa el 25% de los datos que coinciden entre el 0 a 2 ppm y el otro 25% se localizan entre 10 a 20 ppm, el recuadro sombreado representa el 50% de todos los valores centrales del diagrama de caja que va a partir del 2 a 10 ppm, sin embargo, existe datos anómalos que excedieron a partir de 22 a 49 ppm.

Figura 41 Histograma de los niveles de monóxido de carbono



Niveles de concentración de CO

Fuente: Autor

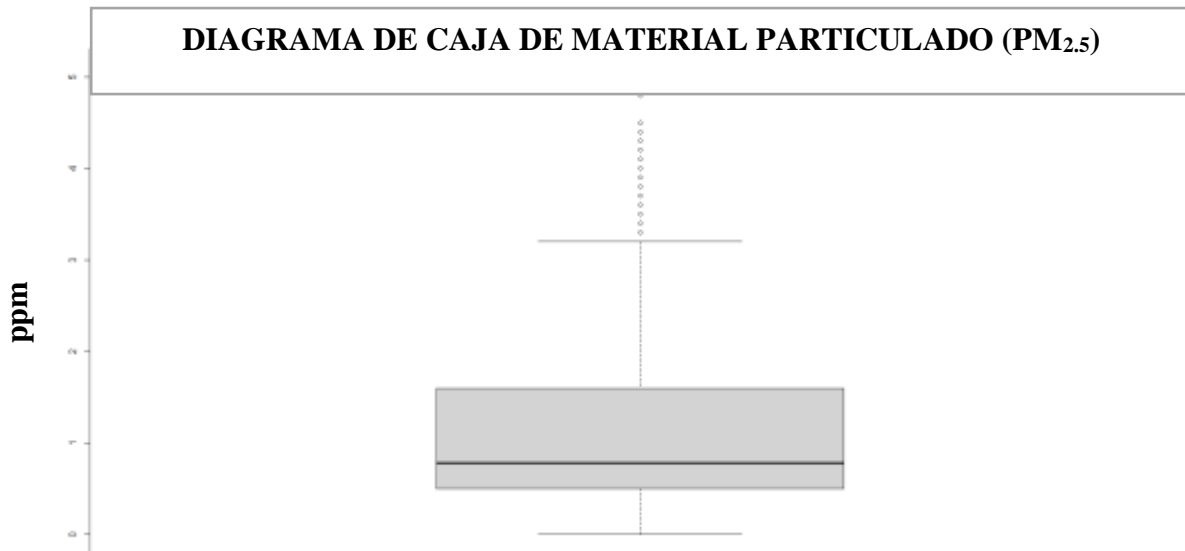
En figura 40, se puede apreciar la distribución de los datos obtenidos de las concentraciones del monóxido de carbono, dónde se visualiza el número de veces que los datos se repitieron durante el tiempo de monitoreo, cómo, por ejemplo, el nivel de concentración 0 ppm se repite 500 veces, la razón es porque en las noches no existía circulación vehicular, por las restricciones dispuestas por el gobierno nacional.

Tabla 8 Análisis de material particulado (PM_{2.5})

Material Particulado (PM _{2.5})						
Mínimo	Primer cuartil	Mediana	Media	Tercer cuartil	Máximo	Desviación estándar
0	0.47	0.78	1.23	1.60	5.10	1.21

Fuente: Autor

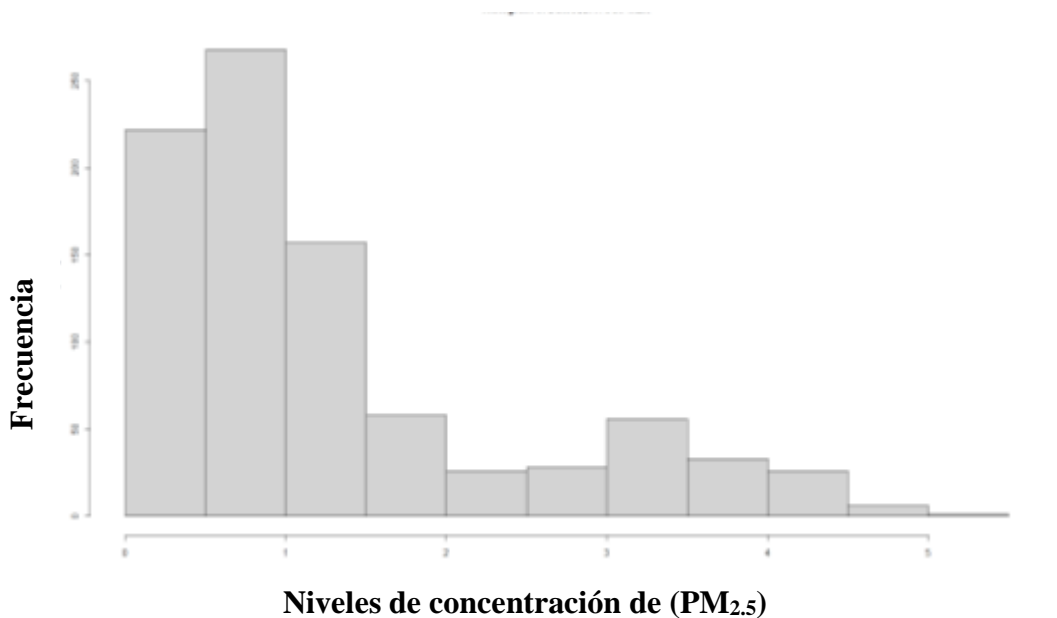
Figura 42 Diagrama de caja para los niveles de material particulado (PM_{2.5})



Fuente: Autor

El diagrama de cajas muestra la distribución del material particulado (PM_{2.5}) durante el tiempo que fue de monitoreo, donde se visualiza que el 100% de los datos normales se encuentra comprendido desde el rango 0 a 3 ppm, mientras que el 50% de los datos recopilados se localizan en el rango de 0.5 a 1,5 ppm, como también se refleja el promedio de los datos que es de 0.78, sin embargo existe anómalos que excedieron a partir del 3 a 5 ppm.

Figura 43 Histograma de los niveles de material particulado (PM_{2.5})



En figura 42, se puede observar la distribución de los datos obtenidos de las concentraciones del material particulado ($PM_{2.5}$), dónde se visualiza el número de veces que los datos se repitieron durante el tiempo de monitoreo, cómo, por ejemplo, el nivel de concentración 1 ppm se repite 250 veces, la razón es porque en las noches no existía circulación vehicular, por las restricciones dispuestas por el gobierno nacional, sin embargo, el nivel de concentración 2 ppm se repite 50 veces en comparación con los demás datos.

4.2. Discusión de resultados

El sistema electrónico para la detección de los niveles de monóxido de carbono (CO) y material particulado ($PM_{2.5}$), es de gran utilidad porque muestra los niveles de contaminación que presentó la Av. Guayaquil en las horas de mayores concurrencias o intermedias, donde los datos recopilados por el sistema son visualizados en la aplicación Grafana.

De acuerdo con los resultados obtenidos por el sistema electrónico se deduce lo siguiente:

- **Diseño del sistema electrónico para la recopilación de datos**

Para la realización de este proyecto de investigación se procedió a investigar los diferentes sistemas embebidos a emplearse, cómo también se eligió los sensores MQ-7 y PMS3003 que permitieron analizar a los dos contaminantes de tipo criterio, se utilizó un interpretador de datos tomando en cuenta la compatibilidad y disponibilidad en el mercado, lo que concuerda con Ochoa Duarte [40], estos dispositivos se encargan de realizar las mediciones, suministrar la energía al sistema y ser el enlace con la interfaz de comunicaciones, el arduino mega es el más compatible con los sensores de monóxido de carbono (CO) y material particulado ($PM_{2.5}$) es de fácil manipulación, de acuerdo a Mejía Neira [41], los microcontroladores aplicados al desarrollo de redes de sensores inalámbricas y las plataformas de desarrollo abierto o hardware libre, las cuales son de amplio uso debido a su facilidad de adquisición. Para poder mostrar los datos en una aplicación web se debe escoger un sistema electrónico que permita conectarse con el arduino donde tenga la capacidad de almacenar, procesar y conexiones de salida, de esta manera se eligió a la Raspberry Pi que permitió conectarse mediante I²C.

Para completar todo el sistema electrónico se lo realizó mediante capas, lo que concuerda con Ochoa Duarte [40], donde su sistema está basado en sensores, puertas de enlace, servidores de borde y aplicaciones. La capa física es la encargada de todas las conexiones del sistema que permite el mejor funcionamiento y rendimiento, como también especifica

las conexiones detalladamente del todo el sistema electrónico como son las conexiones de corriente y las conexiones a datos de acuerdo a los pines con su debido protocolo, la capa de proceso indica la forma de trabajar de los sensores hacia al arduino donde este lo proceso y permite enviar hacia la Raspberry Pi donde estos datos son ingresados a la base de datos y a su vez serán enviados a una aplicación. La capa de aplicación son los procesos de tratamientos de datos y formas de enviar información desde los sensores hasta una aplicación web especificando sus protocolos y puertos de salida.

Una vez identificado cada componente del circuito se procedió a realizar las respectivas conexiones de acuerdo al diagrama, según Mejía Neira [41], en el desarrollo de estas redes, se cuenta con diversidad de sistemas para la adquisición de datos provenientes de los sensores, pero de igual manera, los datos que se obtengan deben ser enviados a una estación de trabajo dentro de la red, por lo que se debe tener un medio sobre el cual va a viajar la información. Se debe verificar que los sensores se encuentren activados para tomar datos, esto se puede comprobar conectándolo solo al arduino y que dé una respuesta coherente de acuerdo al comportamiento del contaminante de tal manera no exista un error al conectarlo con la Raspberry Pi.

Se realizaron pruebas a los sensores debido que estos no se encuentran calibrados y con ningún código específico que indique la forma de utilización y tenga buen funcionamiento, se realizó una investigación para dar el correcto funcionamiento a los sensores y con colaboración del Ing. Carlos Nieto Cañarte que facilito el dispositivo DT-9881M que permitió calibrar los sensores para obtener el valor correcto de los niveles de concentración de dos contaminantes estudiados.

Otro factor que se debe tener en cuenta que al monitorear el material particulado ($PM_{2.5}$), el sensor seleccionado tenga la capacidad de analizar la cantidad precisa de ($PM_{2.5}$) debido que existe sensores que miden por rangos de 1ppm hasta 2.5 ppm, donde se obtuvo un problema al comprar un sensor con estas características, por la cual se optó por el sensor PMS3003 porque permite ser programable para medir solo el ($PM_{2.5}$) y además incluye un cooler pequeño que distribuye el aire interno del sensor permitiendo que los valores obtenidos siempre sean los correctos.

Para la recopilación de los datos de estos contaminantes se instaló el sistema electrónico en la Av. Guayaquil en el poste frente al Jhonny Bar a una altura de 4 metros, donde este sistema tomó los datos las 24 horas del día, donde los datos obtenidos son almacenados en InfluxDB

donde no se presentó ningún inconveniente en la comunicación del sistema embebido con la base de datos.

- **Creación de la aplicación web para visualizar los datos**

Se realizó una investigación exhaustiva de las diferentes aplicaciones web, de acuerdo a Rommel Torres[42], las plataformas IoT proveen una interfaz como punto de acceso a sus recursos a través de protocolos de Internet; que permiten interactuar con lenguajes de alto nivel, que tenga la compatibilidad con la base de datos de series de tiempo, donde se eligió la aplicación Grafana porque es muy amigable con el usuario y es compatible cuando se utiliza InfluxDB.

Cuando se instala Grafana en la Raspberry Pi se debe considerar el ARM para seleccionar las líneas de códigos que permitan ejecutar de manera correcta la instalación dentro del sistema operativo Raspbian, uno de los principales errores que se puede presentar es cuando se ejecutan las líneas de manera desordenadas Grafana no funciona de manera correcta.

Cuando se quiere modificar Grafana a las prioridades del proyecto se debe tener un respaldo por si ocurre un error al momento de modificar mediante líneas de comandos, como también las imágenes deben estar en formato .svg debido que Grafana trabaja con este tipo de formato para procesar las imágenes.

Otro error que se puede presentar es la vinculación de Grafana con InfluxDB cuando se realiza el Data Sources, porque es importante colocar el lenguaje de programación InfluxQL de tal manera que es el único medio de comunicación para interpretar los datos obtenidos por los sensores, concuerda Campoli Marciszack [46], que las señales analógicas y digitales provenientes de los diferentes dispositivos se adapten a variables físicas cuantificables y calificables. Para que su integró de la potencialidad y flexibilidad al momento de la programación. Cuando se requiere recibir información en la aplicación web en HTTP se debe utilizar el método GET que permite enviar la información desde la propia URL.

Al momento de crear los gráficos es necesario tener en claro las variables almacenadas en la base de datos de tal forma que las misma se verán visualizadas al crear el grafico, cuando se utiliza código de línea es muy común cometer errores al seleccionar las formas de evaluar, es recomendable usar los Query que son formatos ya prediseñados para obtener un gráfico.

- **Análisis de los datos recopilados**

Una vez obtenidos los datos de los ocho meses monitoreado por el sistema electrónico que se instaló en la Av. Guayaquil, en la cual se eligieron dos meses para ser evaluados. El primer mes analizado fue el mes de marzo porque se instaló el sistema electrónico, otras de las razones fue evidenciar las variaciones que tiene el monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM_{2.5}) a partir del 16 de marzo por motivo de la pandemia, donde el gobierno declaró una cuarentena obligatoria; para preservar la salud de los habitantes por esa razón se observó que existe una disminución del CO y (PM_{2.5}), en comparación con los primeros días del mes. Se analizó el mes de septiembre debido que las restricciones planteadas por el gobierno termino al 13 de septiembre, a partir de esa fecha las actividades volvieron a su normalidad, pero tomando medidas de bioseguridad.

El factor climático es uno de los factores muy importantes en la recopilación de los datos, se determinó que en horarios soleados y poca presencia de viento los niveles de los contaminantes aumentan de manera significativa, mientras que en horarios de baja intensidad y con presencia de viento los niveles disminuyen notablemente.

Los niveles de monóxido de carbono (CO) se encuentran en un rango aceptable lo cual no pueden ocasionar problemas a la salud de los habitantes, concuerda con Huacón Salazar [47], que los rangos presentados en la Av. 7 de octubre de la ciudad de Quevedo presentó un nivel de 48 ppm se encuentran dentro del rango establecido, considerando la actividad solar y la circulación vehicular los valores aumentarán significativamente. Según Téllez [15], los mayores niveles de CO se dan en épocas en donde no existe la debida corriente de aire, por lo que el CO tiende a concentrarse, especialmente en el invierno en donde el índice solar aumenta. De acuerdo los niveles de alerta planteados por la Norma de Calidad del Aire o nivel de Inmisión Libro VI, anexo 4 se comprobó que los niveles obtenidos por el sistema durante las 8 horas no cumplen con lo que se establece en la normativa, para ser un nivel de alerta debe llegar a 1500 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los niveles de material particulado (PM_{2.5}) emitidos en la Av. Guayaquil se encuentra en un rango aceptable, de acuerdo a los que establece la Norma de Calidad del Aire o nivel de Inmisión Libro VI, anexo 4 donde se evidencia que los niveles obtenidos por el sistema durante las 24 horas no cumplen con lo que se establece en la normativa, para ser un nivel de alerta debe llegar a 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de tal manera el valor máximo obtenido de este contaminante no afecta a la salud de las personas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De acuerdo con los resultados antes expuestos, se plantean las siguientes conclusiones:

- Se realizó el diseño de un sistema electrónico que permite detectar los niveles de concentraciones de monóxido de carbono y material particulado en la Av. Guayaquil de la ciudad de Quevedo, los valores obtenidos por el sistema se almacenarán en la base de datos que luego se visualizarán en tiempo real en la aplicación Grafana.
- Luego de revisar diferentes componentes electrónicos se optó en utilizar los sensores MQ-7 debido que es analógico e interpreta los datos monóxido de carbono permitiendo enviar estos datos al arduino y PMS3003 permite tomar muestras de material particulado (PM_{2.5}), donde cuenta con una mejor ventilación en comparación con los otros sensores, como también estos sensores son compatibles con los sistemas embebidos.
- Se utilizó Grafana debido que es una aplicación web amigable con el usuario y de fácil manipulación, optando en utilizar diferentes formas de graficar los datos de acuerdo con lo que se va mostrar, dando la posibilidad de publicar a estos datos a personas externas de una red conocida porque se encuentra basada en IoT.
- Una vez analizados los datos sobre los niveles de monóxido de carbono y material particulado (PM_{2.5}), en el mes de marzo se presentó un nivel de 49,28 ppm concentración de monóxido de carbono, a diferencia del mes septiembre que se obtuvo 41 ppm, en cambio el valor obtenido para material particulado fue de 5.35ppm, se puede concluir que los meses de marzo y septiembre existe una variación de los niveles debido a que en el país se realizó un confinamiento, se pudo evidenciar que los datos tomados antes y después de las restricciones vehiculares se encuentra dentro del rango aceptable establecida en el Libro VI anexo 4 donde se determinan los niveles de alerta para contaminantes de tipo criterio.

5.2. Recomendaciones

En base a lo acontecido durante el lapso de la investigación, se plantea las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda analizar los demás contaminantes de tipo criterio en los lugares donde se da mayor circulación vehicular y concurrencia de personas, utilizando sistemas embebidos con la incorporación de sensores que faciliten el monitoreo de la calidad del aire y estos datos tomados poderlos observar en tiempo real.
- Es importante tener en cuenta las condiciones ambientales como la altitud, precipitación y temperatura del lugar donde se va efectuar la recopilación de los datos, porque al momento de realizar las correcciones con la ecuación determinada en el Libro VI anexo 4 para las concentraciones de contaminantes de tipo criterio se emplean estos datos.
- Aunque los niveles de contaminación presentados en la Av. Guayaquil no superan el nivel de alerta sería aconsejable optar las medidas de circulación vehicular como la ciudad de Quito donde establecen un pico y placa para reducir los niveles CO como se reflejó cuando el COE Nacional dispuso horarios de circulación vehicular.
- Para futuras mejoras del sistema electrónico se deben incorporar sensores de mejor calidad, esto puede ayudar al sistema mantenerse encendido sin tener que darle mantenimiento constantemente y obteniendo la misma precisión al momento de monitorear los niveles de concentración de cualquier contaminante.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Elsy, T. Cobo, and L. M. Sc, “Universidad Técnica Estatal De Quevedo Directora De Tesis,” 2015.
- [2] J. F. Antamba Guasgua, G. G. Reyes Campaña, and M. E. Granja Paredes, “Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1 , utilizando gasolina de la Comunidad Andina (Comparative study of emission of pollutant gases in vehicle M1 , using fuel of the Andean Community),” *Enfoque UTE*, vol. 3, p. 10, 2016.
- [3] B. M. Val, “La Contaminación Atmosférica en China,” *Universitat Pompeu Fabra*, 2016.
- [4] P. Matus, “Contaminación atmosférica: La composición química incide en su riesgo,” *Rev. Med. Chil.*, vol. 145, no. 1, pp. 7–8, 2017, doi: 10.4067/S0034-98872017000100001.
- [5] “Controlar la contaminación ambiental contribuye a mejorar la calidad de vida de la población – Ministerio del Ambiente y Agua,” 2019. <https://www.ambiente.gob.ec/controlar-la-contaminacion-ambiental-contribuye-a-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion/> (accessed Oct. 21, 2020).
- [6] P. Vallejo Choez, C. González Moya, and F. Mena Mora, “Cálculo referencial de material particulado en el aire como factor de contaminación ambiental en el área urbana de la ciudad de Pujilí,” *Enfoque UTE*, vol. 7, no. 2, p. 109, 2016, doi: 10.29019/enfoqueute.v7n2.99.
- [7] “OPS/OMS Ecuador - 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica, según la OMS.” https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_content&view=article&id=1172:7-millones-muertes-ocurren-cada-ano-debido-contaminacion-atmosferica-segun-oms&Itemid=360 (accessed Nov. 25, 2020).
- [8] C. Gaviria, Pa. Benavides, and C. Tangarife, “Contaminación por material particulado (pm 2 , 5 y pm 10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín,” *Rev. Fac. Nac. salud Publica*, vol. 29, pp. 241–250, 2011, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/pdf/120/12021452003.pdf>.

- [9] “Impacto Ambiental del parque automotor del Cantón Quevedo,” 2016. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2016/10/automotor.html> (accessed Oct. 21, 2020).
- [10] A. P. Garrido and Y. Camargo, “Partículas respirables en el aire generalidades y monitoreo en latinoamérica,” *Inge-Cuc*, vol. 8, no. 1, pp. 293–312, 2012.
- [11] J. F. Segura-Contreras and J. F. Franco, “Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular,” *Rev. Salud Publica*, vol. 18, no. 2, pp. 179–187, 2016, doi: 10.15446/rsap.v18n2.47209.
- [12] Ministerio del Medio Ambiente - Gobierno de Chile, “Guía de calidad del aire y educación ambiental,” *Minist. del Medio Ambient. Gob. Chile*, vol. 3, p. 103, 2016, [Online]. Available: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>.
- [13] E. Aránguez et al., “Contaminantes atmosféricos y su vigilancia,” *Rev. Esp. Salud Publica*, vol. 73, no. 2, pp. 123–132, 1999, doi: 10.1590/s1135-57271999000200003.
- [14] A. M. Contreras Vigil, G. García Santiago, and B. Icaza Hernández, “Calidad del aire: una Práctica de vida,” p. 28, 2013, [Online]. Available: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>.
- [15] J. Téllez, A. Rodríguez, and A. Fajardo, “Contaminación por Monóxido de Carbono: un problema de la salud ambiental,” *Rev. Salud Publica (Bogota)*, vol. 8, no. 1, pp. 108–117, 2006, doi: 10.1590/S0124-00642006000100010.
- [16] O. G. Manuel, “Contaminación aérea y sus efectos en la salud,” *Rev. Chil. Enfermedades Respir.*, vol. 26, no. 1, pp. 16–25, 2010, [Online]. Available: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v26n1/art04.pdf>.
- [17] L. F. Garcés Giraldo and M. L. Hernández Ángel, “La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico,” *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 1, no. 2, 2004, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/pdf/695/69510211.pdf>.
- [18] P. R. Conrado Avendaño, A. R. Galindo Uriarte, and A. A. Angulo Rodríguez, *Ecología y Educación ambiental*, Primera Ed. 2011.
- [19] Semarnat, “Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático,” 2007. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html> (accessed Oct. 21,

- 2020).
- [20] H. Jorquera González, *Introducción a la contaminación atmosférica*, UC. Chile, 2015.
 - [21] I.- Semarnat, *Guía metodológica para la estimación de emisiones PM2.5*, Primera. Mexico, 2011.
 - [22] S. D. Ortiz Vásquez and W. C. Mamami Morales, “Intoxicación por monóxido de carbono,” *Rev. Actual. Clínica*, vol. 36, p. 5, 2013.
 - [23] F. Ballester Díaz, J. M. Tenías, and S. Pérez Hoyos, “Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción,” *Rev. Esp. Salud Publica*, vol. 73, no. 2, p. 13, 1999, doi: 10.1590/s1135-57271999000200002.
 - [24] M. S. González, *Diseño de redes telemáticas*, Primera Ed. España: RA-MA, 2014.
 - [25] M. Fernández Barcell, “Redes de datos,” *Redes Corp.*, vol. 4, p. 41, 2014.
 - [26] A. M. Fernández, “Tema 5 El bus I2C,” 2004.
 - [27] R. González Duque, *Python para todos*, vol. no. 7. España, 2018.
 - [28] J. Ceballos Sierra, “Enciclopedia del lenguaje C++ - Google Libros,” google books, 2009. <https://books.google.com.ec/books?id=EexFDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+es+lenguaje+de+programacion+c%2B%2B&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwjilLz2s4rtAhWnslkKHbi2A4UQ6AEwA3oECAYQAg#v=onepage&q=que+es+lenguaje+de+programacion+c%2B%2B&f=false> (accessed Nov. 17, 2020).
 - [29] A. Gutiérrez Díaz, “Bases de datos,” 2010. [Online]. Available: [https://aiu.edu/cursos/base de datos/pdf leccion 1/lección 1.pdf](https://aiu.edu/cursos/base+de+datos/pdf+leccion+1/leccion+1.pdf).
 - [30] C. M. E. Paré, Rafael Camps, Luis Alberto Casillas Santillán, *Bases de datos*, Primera Ed., vol. 64, no. 12. Barcelona, 2005.
 - [31] M. E. Millán, *Fundamentos de Bases de Datos - Notas de referencia*, Primera. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2012.
 - [32] G. Ríos, “Series de Tiempo,” Chile, 2008. doi: 10.1016/j.aquabot.2013.06.010.
 - [33] D. Arnst, T. Herpich, V. Plenck, and A. Wöltche, “Comparative Evaluation of Database Read and Write,” *Int. J. Adv. Internet Technol.*, vol. 12, no. 1 and 2, p. 16, 2019, [Online]. Available: http://www.iariajournals.org/internet_technology/www.iari

a.org%0Ahttps://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=inttech_v12_n12_2019_4.

- [34] “Qué es Grafana y cómo podemos emplearlo para la monitorización.” <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-grafana/> (accessed Oct. 22, 2020).
- [35] F. Miyara, “Conversadores D/A Y A/D,” *Electrónica III*, vol. primera, p. 43, 2004, [Online]. Available: <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3>.
- [36] L. González, R. Hernandez, F. Hernandez, J. Durán, and N. Sánchez, *Raspberry PI 3 y pcDUINO Raspberry PI 3*, Primera. Colombia, 2018.
- [37] Ó. Torrente Artero, *Arduino, Curso práctico de formación*. Madrid, 2013.
- [38] Plantower, “Digital universal particle concentration sensor,” 2016. [Online]. Available:https://download.kamami.pl/p564008PMS7003seriesdatamanua_English_V2.5.pdf.
- [39] H. Quezada, “Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135,” *Naylamp Mechatronics*, 2017. https://naylampmechatronics.com/blog/42_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html (accessed Oct. 22, 2020).
- [40] A. Ochoa Duarte, L. D. Cangrejo Aljure, and T. Delgado, “Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire.,” *Rev. Cuba. Ciencias Informáticas*, vol. 12, no. 1, p. 16, 2018.
- [41] G. Piñeres Espitia and Á. Mejía Neira, “Plataformas tecnológicas aplicadas al monitoreo climático,” *Prospectiva*, vol. 11, no. 2, pp. 78–87, 2013, doi: <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v11i2.42>.
- [42] M. Quiñones Cuenca, V. González Jaramillo, R. Torre, and M. Jumbo, “Sistema de Monitoreo de variables Medioambientales usando una Red de sensores inalámbricos y plataformas de Internet de las Cosas,” *Enfoque UTE*, vol. 7, no. 1, pp. 329–343, 2017, [Online]. Available: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>.
- [43] A. Suárez, R. Llugsí, P. Lupera, and R. Chango, “Implementación de un Sistema Aéreo de medición y almacenamiento de parámetros meteorológicos georreferenciados para zonas pequeñas,” *Rev. Politécnica*, vol. 39, no. 2, pp. 17–26, 2017, doi: 10.33333/rp.v39i2.868.

- [44] Ministerio del Ambiente, “Normativa Ambiental,” pp. 1–184, 2015, [Online]. Available:https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/201809/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf.
- [45] P. D. E. Desarrollo and Y. O. Territorial, “Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Quevedo provincia de Los Ríos,” 2016.
- [46] Marciszack Campoli Ezequiel, “Sistema de monitoreo de la calidad del aire integrado IoT,” p. 67, 2016, [Online]. Available: <http://www.buenosaires.gob.ar/agenciaambiental/monitoreoambiental/calidadaire>.
- [47] H. S. Linda and R. Z. Joshua, “Universidad Técnica Estatal De Quevedo Facultad De Ciencias Ambientales Carrera De Ingeniería En Ecoturismo,” p. 93, 2018.

CAPITULO VII

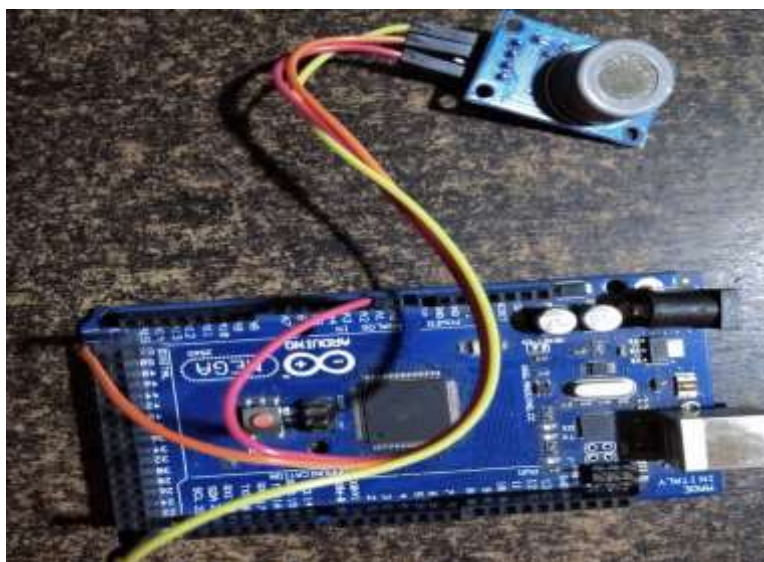
ANEXOS



Anexo 1 Instalación de sistema electrónico



Anexo 2 Sistema electrónico completado



Anexo 3 sensor MQ-7 conectado al arduino



Anexo 4 Conexión de arduino con la Raspberry Pi



Anexo 5 Conexión de todos los componentes electrónicos



Anexo 6 Calibración del sistema electrónico