



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE EN LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI CON
ARQUITECTURA IOT**

Trabajo de titulación modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

ÁREA: Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la información y Sistemas de control

AUTOR: Juan Miguel Barreno Celi

TUTOR: Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez, Mg.

Ambato – Ecuador

agosto - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI CON ARQUITECTURA IOT, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Juan Miguel Barreno Celi, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, agosto 2023.

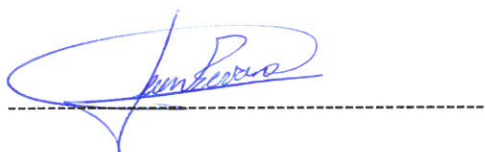
Ing. Julio Enrique Cuji Rodríguez, Mg.

TUTOR

AUTORÍA

El presente Trabajo de titulación titulado: SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI CON ARQUITECTURA IOT es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2023.



Juan Miguel Barreno Celi

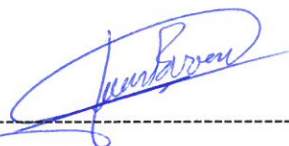
C.C. 1726295361

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, agosto 2023



Juan Miguel Barreno Celi

C.C. 1726295361

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Juan Miguel Barreno Celi, estudiante de la Carrera de Telecomunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad proyecto de investigación titulado SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI CON ARQUITECTURA IOT, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del respectivo instructivo del reglamento y su reforma. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, agosto 2023.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Santiago Manzano
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Juan Pablo Pallo
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres por ser quienes permitieron que todo esto sea una realidad con mucho esfuerzo y cariño, a mi hermana Antonella por ser un apoyo incondicional en todos estos años.

Juan

AGRADECIMIENTO

“Agradezco a mis padres por impulsarme en la carrera, con amor y dedicación se logró.

A Fer, por ser mi amiga incondicional a lo largo de estos años. Gracias por ser parte esencial de este viaje.

A Bryan y Jorge por ser quienes me acompañaron desde el inicio de la carrera.

Al Ing. Julio Cuji por ser la guía durante todo este tiempo con el desarrollo de este proyecto.

Al Ing Marco Jurado por la paciencia y tiempo que le dedicó a cada una de las revisiones del proyecto.

A Daniela porque 11 años de amistad no son simples números.

A la Ingeniera Pamela Castro por presionarme para terminar la tesis, su apoyo fue primordial para la finalización de este proyecto.

A mis amigos, mis más sinceros agradecimientos.

Finalmente, a mí mismo “

Juan

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| APROBACIÓN DEL TUTOR | ii |
| AUTORÍA | iii |
| DERECHOS DE AUTOR | iv |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO | v |
| Dedicatoria..... | vi |
| Agradecimiento..... | vii |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | xv |
| ABSTRACT..... | xvi |
| CAPÍTULO I | 1 |
| MARCO TEÓRICO | 1 |
| 1.1. Tema de investigación..... | 1 |
| 1.1.1. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2. Antecedentes investigativos | 2 |
| 1.3. Fundamentación teórica | 4 |
| 1.3.1. Calidad del aire..... | 4 |
| 1.3.2. Tipos de contaminantes del aire. | 5 |
| 1.3.3. Contaminantes y sus efectos sobre la salud humana..... | 6 |
| 1.3.4. Normativas nacionales e internacionales para calidad del aire | 8 |
| 1.3.5. Redes inalámbricas | 10 |
| 1.3.6. Tecnología WiFi..... | 14 |
| 1.3.7. IoT | 14 |
| 1.3.8. Protocolos de comunicación inalámbrica para IoT | 16 |
| 1.3.9. Arquitectura IoT | 17 |
| 1.3.10. Integración IoT | 17 |
| 1.3.11. Sensores de calidad del aire | 18 |
| 1.3.12. Calidad de aire interior y exterior | 19 |

| | | |
|--------|---|----|
| 1.4. | Objetivos | 20 |
| 1.4.1. | Objetivo General | 20 |
| 1.4.2. | Objetivos Específicos | 20 |
| | CAPÍTULO II | 21 |
| | METODOLOGÍA | 21 |
| 2.1. | Materiales | 21 |
| 2.2. | Métodos..... | 21 |
| 2.2.1. | Modalidad de investigación..... | 21 |
| 2.2.2. | Recolección de información | 21 |
| 2.2.3. | Procesamiento y análisis de datos | 22 |
| | CAPÍTULO III..... | 23 |
| | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 23 |
| 3.1. | Análisis y discusión de los resultados..... | 23 |
| 3.2. | Desarrollo de la propuesta..... | 23 |
| 3.2.1. | Requerimientos del sistema..... | 23 |
| 3.2.2. | Esquema general del sistema..... | 24 |
| 3.2.6. | Desarrollo de la interfaz. | 34 |
| 3.2.7. | Implementación del prototipo | 36 |
| 3.2.8. | Pruebas de funcionamiento | 43 |
| 3.2.9. | Presupuesto..... | 50 |
| | CAPÍTULO IV | 52 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 52 |
| 4.1. | Conclusiones | 52 |
| 4.2. | Recomendaciones..... | 53 |
| | ANEXOS | 59 |
| | Anexo 1: Mediciones 23/07/2023..... | 59 |
| | Anexo 2: Mediciones 27/06/2023..... | 64 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| Anexo 3: Mediciones 30/07/2023..... | 70 |
| Anexo 4: Mediciones 04/07/2023..... | 73 |
| Anexo 5: Mediciones 05/07/2023..... | 78 |
| Anexo 6: Mediciones 06/07/2023..... | 80 |
| Anexo 7: Mediciones 07/07/2023..... | 83 |
| Anexo 8: Mediciones 08/07/2023..... | 85 |
| Anexo 9: Medición en interiores | 91 |
| Anexo 10: Medición en exteriores..... | 93 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Fuentes de contaminantes naturales y artificiales | 6 |
| Tabla 2. Clasificación de sensores IoT..... | 16 |
| Tabla 3. Arquitectura IoT | 17 |
| Tabla 4. Comparación sensores CO | 26 |
| Tabla 5. Comparación sensores CO2 | 26 |
| Tabla 6. Comparación Microcontrolador | 27 |
| Tabla 7. Comparación sensor de Temperatura y Humedad | 28 |
| Tabla 8. Comparación del reductor de voltaje | 28 |
| Tabla 9. Alimentación de los elementos del prototipo..... | 33 |
| Tabla 10. Criterios de medición | 43 |
| Tabla 11. Mediciones realizadas en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi | 44 |
| Tabla 12. Cumplimiento con la normativa..... | 49 |
| Tabla 13. Presupuesto de construcción del prototipo..... | 51 |
| Tabla 14. Promedio mediciones 23/06/23 | 61 |
| Tabla 15. Promedio mediciones Ágora FISEI..... | 64 |
| Tabla 16. Promedio mediciones 27/06/23 | 67 |
| Tabla 17. Promedio mediciones 27/06/23 | 69 |
| Tabla 18. Promedio mediciones 30/06/23 | 72 |
| Tabla 19. Promedio mediciones 04/07/23 | 75 |
| Tabla 20. Promedio mediciones 05/07/23 | 77 |
| Tabla 21. Promedio de mediciones 05/07/23 | 80 |
| Tabla 22. Promedio mediciones 06/07/23 | 82 |
| Tabla 23. Promedio mediciones 07/07/23 | 85 |
| Tabla 24. Promedio mediciones 08/07/2023 | 87 |
| Tabla 25. Mediciones en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato | 88 |
| Tabla 26. Comparaciones con la normativa | 89 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Fuentes de contaminantes ambientales | 5 |
| Figura 2. Clasificación de redes inalámbricas..... | 10 |
| Figura 3. Redes WPAN..... | 11 |
| Figura 4. Esquema de una WLAN en el hogar | 12 |
| Figura 5. WiMax | 13 |
| Figura 6. Arquitectura de red Wifi..... | 14 |
| Figura 7. Estructura IoT | 15 |
| Figura 8. Sensor NDIR..... | 19 |
| Figura 9. Sensores electroquímicos..... | 19 |
| Figura 10. Esquema General del sistema de monitoreo de calidad del aire | 24 |
| Figura 11. Diseño externo e interno del prototipo | 30 |
| Figura 12. Diseño externo del prototipo | 30 |
| Figura 13. Esquema contenedor del prototipo | 31 |
| Figura 14. Diseño electrónico del prototipo | 32 |
| Figura 15. Diseño esquemático del prototipo | 32 |
| Figura 16. Interfaz gráfica para el prototipo de medición de calidad del aire. | 34 |
| Figura 17. Medidores de monóxido de carbono | 35 |
| Figura 18. Medidores de dióxido de carbono | 35 |
| Figura 19. Medidor de temperatura | 36 |
| Figura 20. Histórico de mediciones | 36 |
| Figura 21. Ubicación del prototipo en un aula de clases..... | 37 |
| Figura 22. Nivel normal de respiración para ubicación del prototipo..... | 38 |
| Figura 23. Puntos de medición en el campus Huachi. | 38 |
| Figura 24. Diagrama de flujo del sistema de monitoreo | 39 |
| Figura 25. Esquema del prototipo | 40 |
| Figura 26. Piezas del contenedor | 41 |
| Figura 27. Prototipo ensamblado | 41 |
| Figura 28. Declaración de variables para el envío a Ubidots. | 42 |
| Figura 29. Promedio monóxido de Carbono UTA..... | 46 |
| Figura 30. Promedio mediciones CO2 UTA..... | 47 |
| Figura 31. Mediciones Humedad UTA..... | 48 |
| Figura 32. Promedio mediciones temperatura | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 33. Mediciones CO 23/06/23 aula H02 FISEI | 59 |
| Figura 34. Mediciones CO2 23/06/23 aula H02 FISEI | 60 |
| Figura 35. Mediciones humedad 23/06/23 aula H02 FISEI | 60 |
| Figura 36. Mediciones Temperatura 23/06/23 aula H02 FISEI | 61 |
| Figura 37. Mediciones CO 23/06/23 Ágora FISEI | 62 |
| Figura 38. Mediciones CO2 23/06/23 Ágora FISEI | 62 |
| Figura 39. Mediciones Humedad 23/06/23 Ágora FISEI | 63 |
| Figura 40. Mediciones Temperatura 23/06/23 Ágora FISEI | 64 |
| Figura 41. Mediciones CO 27/06/23 Biblioteca General | 65 |
| Figura 42. Mediciones CO2 27/06/23 Biblioteca General | 65 |
| Figura 43. Mediciones Humedad 27/06/23 Biblioteca General | 66 |
| Figura 44. Mediciones Temperatura 27/06/23 Biblioteca General. | 66 |
| Figura 45. Mediciones CO 27/06/23 Salida principal UTA | 67 |
| Figura 46. Mediciones CO2 27/06/23 entrada principal UTA | 68 |
| Figura 47. Mediciones Humedad 27/06/23 entrada principal UTA | 68 |
| Figura 48. Mediciones Temperatura 27/06/23 entrada principal UTA | 69 |
| Figura 49. Mediciones CO 30/06/23 aula F02 de clases | 70 |
| Figura 50. Mediciones CO2 30/06/23 aula F02 de clases | 71 |
| Figura 51. Mediciones Humedad 30/06/23 aula F02 de clases | 71 |
| Figura 52. Mediciones Temperatura 30/06/23 aula F02 de clases | 72 |
| Figura 53. Mediciones CO 04/07/23 pasillos FISEI | 73 |
| Figura 54. Mediciones CO2 04/07/23 pasillos FISEI | 73 |
| Figura 55. Mediciones Humedad 04/07/23 pasillos FISEI | 74 |
| Figura 56. Mediciones Temperatura 04/07/23 pasillos FISEI | 74 |
| Figura 57. Mediciones CO 05/07/23 estacionamiento Casa Universitaria | 75 |
| Figura 58. Mediciones CO2 05/07/23 estacionamiento Casa Universitaria | 76 |
| Figura 59. Mediciones Humedad 05/07/23 estacionamiento Casa Universitaria ... | 76 |
| Figura 60. Mediciones Temperatura 05/07/23 estacionamiento Casa Universitaria | 77 |
| Figura 61. Mediciones CO 05/07/23 laboratorio industrial 2 de la FISEI | 78 |
| Figura 62. Mediciones CO2 05/07/23 laboratorio industrial 2 de la FISEI | 78 |
| Figura 63. Mediciones Humedad 05/07/23 laboratorio industrial 2 de la FISEI | 79 |
| Figura 64. Mediciones Temperatura 05/07/23 laboratorio industrial 2 de la FISEI | 79 |

| | |
|---|----|
| Figura 65. Mediciones CO 06/07/23 aula de clase G03 edificio 2 | 80 |
| Figura 66. Mediciones CO2 06/07/23 aula de clase G03 edificio 2 | 81 |
| Figura 67. Mediciones Humedad 06/07/23 aula de clase G03 edificio 2 | 81 |
| Figura 68. Mediciones Temperatura 06/07/23 aula de clase G03 edificio 2 | 82 |
| Figura 69. Mediciones CO 07/07/23 pasillos FISEI segundo piso | 83 |
| Figura 70. Mediciones Humedad 07/07/23 pasillos FISEI segundo piso | 84 |
| Figura 71. Mediciones Temperatura 07/07/23 pasillos FISEI segundo piso | 84 |
| Figura 72. Mediciones CO 08/07/2023 Parada de Buses..... | 85 |
| Figura 73. Mediciones CO2 08/07/2023 Parada de buses | 86 |
| Figura 74. Mediciones Humedad 08/07/2023 Parada de buses | 86 |
| Figura 75. Mediciones temperatura 08/07/2023 Parada de Buses | 87 |
| Figura 76. Pruebas de monitoreo en el laboratorio industrial 2 | 91 |
| Figura 77. Mediciones realizadas dentro del aula F02..... | 91 |
| Figura 78. Mediciones Pasillos FISEI Segundo piso | 92 |
| Figura 79. Mediciones realizadas en el ágora de la FISEI..... | 93 |
| Figura 80. Mediciones realizadas en la puerta principal de la Universidad Técnica de Ambato..... | 94 |

RESUMEN EJECUTIVO

La buena calidad del aire es un factor importante para las personas que se encuentran dentro de oficinas u hogares, una mala calidad del aire implica la acumulación de contaminantes que pueden resultar en problemas de salud para exposiciones a largo plazo, por lo que el monitoreo constante de la acumulación de contaminantes puede ayudar a evitar problemas de salud en trabajadores o integrantes del hogar. El presente proyecto muestra la implementación de un prototipo que permite realizar la medición de la calidad del aire en la Universidad Técnica de Ambato, dentro de sus instalaciones como la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, sus aulas y laboratorios, lugares abiertos como el estacionamiento de la universidad, entre otros.

El prototipo de monitoreo de calidad del aire es portátil por lo que se puede utilizar en interiores y exteriores junto con un sistema de conmutación automático de alimentación que permite el cambio automático entre ambos en caso de un corte de energía. El monitoreo se realiza constantemente en una plataforma alojada en la nube en la que se muestran los datos de medición de Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Temperatura y Humedad.

Palabras clave: Calidad del aire, contaminantes, monitoreo, contaminación ambiental

ABSTRACT

The good air quality is an important factor for people who are inside offices or houses, as poor air quality implies an accumulation of pollutants that can result in long-term health problems. Therefore, constant monitoring of pollutant accumulation can help prevent health issues in workers or household members. This project showcases the implementation of a prototype that allows for air quality measurement at the Technical University of Ambato, within its facilities such as the Faculty of Systems Engineering, Electronics, and Industrial Engineering, its classrooms, laboratories, open spaces like the university parking lot, among others.

The prototype will be portable, allowing for indoor and outdoor use, along with an automatic power switching system that enables automatic changeover in case of a power outage. Monitoring will be conducted continuously on a cloud-hosted platform, displaying measurement data for Carbon Dioxide (CO₂), Carbon Monoxide (CO), Temperature, and Humidity.

Keywords: Air quality, pollutants, monitoring, environmental pollut

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Tema de investigación

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE EN LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI CON
ARQUITECTURA IOT

1.1.1. Planteamiento del problema

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), a nivel global, aproximadamente el 60% de las muertes relacionadas con la contaminación del aire en espacios interiores ocurren en mujeres y niños. Además, la contaminación del aire en espacios interiores se puede atribuir a más del 50% de todas las muertes por neumonía en niños menores de cinco años [1].

En la actualidad en las ciudades del Ecuador el parque automotor está incrementando lo que implica un aumento de emisiones de contaminantes resultado del uso de motores a combustión bajo este panorama las afectaciones a la salud de las personas expuestas a partículas contaminantes pueden ir desde un simple dolor de cabeza o ardor de ojos hasta complicaciones respiratorias por el alto número de partículas concentradas en sus pulmones.

En la actualidad, la tecnología ofrece una forma de monitorear diversas variables ambientales, como las partículas contaminantes perjudiciales para la salud, mediante el uso de dispositivos de Internet de las cosas (IoT). Estos dispositivos IoT resultan convenientes para sistemas de monitoreo remoto, permiten el acceso seguro desde cualquier ubicación. Esto implica que la administración de los dispositivos y sensores se vuelve más sencilla, sin comprometer la escalabilidad y funcionalidad que ofrecen. Además, los usuarios pueden mantener el sistema de manera fácil y sin incurrir en

costos innecesarios. Al utilizar eficientemente una arquitectura IoT, las personas pueden optimizar el uso de los recursos y reducir los gastos asociados a la mano de obra [1].

El proyecto presenta una visión a una problemática que no es abordada con frecuencia implica un estudio sobre contaminantes que no tienen un efecto inmediato en la salud humana como el dióxido de carbono (CO₂), monóxido de Carbono (CO) y material particulado (PM), pero con el paso del tiempo puede implicar un riesgo para la salud a nivel respiratorio dada la alta concentración de partículas en los pulmones de las personas, investigaciones previas han demostrado que las personas que se encuentran en lugares en los que la calidad de aire no es adecuada presentan molestias respiratorias de algún tipo otro factor que influye es la temperatura presentando incomodidad en las personas.

1.2. Antecedentes investigativos

En la investigación realizada se han recopilado varios trabajos investigativos de repositorios de universidades que pueden aportar al trabajo de investigación en cuanto a niveles de contaminación y tecnología se detallan a continuación:

En el año 2017 el Sr. Daniel Ortega con su investigación titulada: “Implementación de un prototipo para el monitoreo de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄) en lugares residenciales utilizando el sistema operativo Android y Arduino.” realizado en la Escuela Politécnica Nacional indica como se utilizó un prototipo usando Arduino, el que proporcionó datos acerca de las mediciones de CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono) y CH₄ (metano) en lugares de zonas residenciales como casas y oficinas mediante el uso de tecnología Bluetooth en las mediciones realizadas en ninguna ocasión se excedió el umbral máximo de afectación a la salud el mayor porcentaje de ppm llegó a 2000 en un lugar cerrado y con altas concentraciones de personas [2].

En la investigación llevada a cabo por las Srtas. Elizabeth Cantuña y Daniela Satián en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el 2019 titulada: “Análisis de rendimiento de la tecnología LoRaWAN aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol Riobamba.” usa la tecnología Lora WAN para monitorear la calidad del aire en una unidad educativa indicando una serie de pruebas de rendimiento y funcionalidad del prototipo también determinando la efectividad de los sensores empleados, se obtuvieron medidas importantes de CO de 38.89% lo cual no implica un riesgo para la salud a corto plazo [3].

Las Srtas. Asadobay María y Adriana Paca en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el 2019 en su investigación: “Propuesta de un prototipo de nodos inteligentes integrables a una red inalámbrica para supervisión en línea de contaminantes del aire.” utilizan un microcontrolador para la medición y adquisición de datos de calidad del aire, su investigación muestra también parámetros útiles para la construcción del prototipo como: consumo de energía y duración de batería por varias horas de funcionamiento. Indicando también que la mayor concentración de contaminantes se dio entre las 14 y 14:40 con una cantidad de 976ug/m3 de CO [4].

En el 2021 Henry Alfonso y. Joselyne Puma en su investigación: “Diseño e implementación de un prototipo de medición de emisión de gases contaminantes en el laboratorio de automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil” mediante una serie de mediciones a vehículos automotores realizaron comparaciones con la normativa OSHA esta investigación proporciona valores útiles acerca de la contaminación generada por vehículos en los campus universitarios como vehículos a diésel con 250 partículas por millón (ppm) y los vehículos a gasolina 190ppm [5].

El Sr. Jorge Miño en el 2021 en su investigación titulada: “Diseño e Implementación de Sensores de Medición de Contaminación del Aire Basado en una Red LoRaWAN en la Escuela Politécnica Nacional” se utilizan varios sensores diferentes para determinar cuál de ellos permite una conexión más eficiente y mediciones más precisas

con el menor consumo de recursos en cuanto a memoria en los sistemas, indicando que la mayor medición de contaminación se dio en laboratorios en presencia de personas o en ocasiones por aire proveniente del exterior en este proyecto el uso eficiente de recursos fue fundamental por lo que se obtuvo un dato importante de cuanta memoria RAM consume el prototipo llegando a ser de 200kb para una aplicación fluida y sin cortes [6].

En el 2018 el Sr. Fabian Salazar en su investigación: “Contaminantes químicos del aire interior y su incidencia en la afectación de la salud de los trabajadores de los laboratorios de instituciones de educación superior” realiza un estudio acerca de la calidad de aire interior en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato, obteniendo como resultados importantes que el nivel de dióxido de Carbono (CO₂) y temperatura no son los adecuados para una buena calidad de aire para las personas. [7]

Este conjunto de investigaciones aporta de forma significativa al proyecto incluye factores importantes en cuanto a valores de contaminación ambiental y pruebas de prototipos en diferentes situaciones como pruebas en exteriores, interiores y lugares en los que comúnmente existe una afluencia de personas constante como oficinas otro aspecto importante que proveen las investigaciones son una serie de mediciones y parámetros a considerar al momento del diseño del prototipo junto con los microprocesadores que se utilizaron para realizar la comunicación inalámbrica

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Calidad del aire

Según el *Manual de control de la calidad de aire* [8], siempre que en el planeta se use alguna clase de energía, cabe la posibilidad de que exista contaminación residual, La misma puede tomar forma de un líquido, sólido o un gas, como se indica en la figura 1 esto puede estar relacionado con las diferentes formas de contaminación de aire, agua y suelo. Cuando se libera un contaminante en el aire las descargas son liberadas únicamente en el ambiente y normalmente no disminuyen su cantidad debido a fuerzas

naturales puede dispersar los contaminantes sobre una extensa área geográfica, siendo este un asunto de interés global. La contaminación del aire es un problema principalmente de la vida urbana, el desarrollo industrial y la dependencia de motores de combustión interna son causantes de un incremento en las emisiones gaseosas y partículas, de los cuales un 42% pertenece al parque automotor. En la Figura 1 se muestran las principales fuentes de contaminantes ambientales [8].

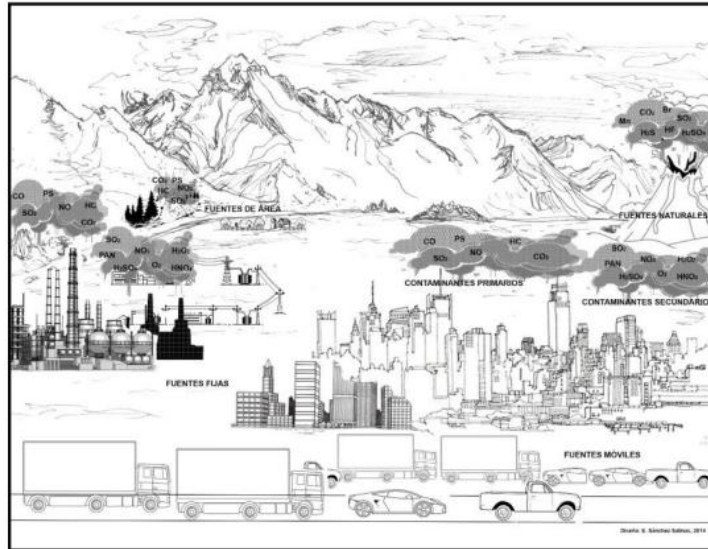


Figura 1. Fuentes de contaminantes ambientales [9]

1.3.2. Tipos de contaminantes del aire.

La polución del aire se origina en una variedad de sustancias que provienen principalmente de cinco fuentes de actividades humanas: la industria, agricultura, desechos, hogares y transporte. [10]

De acuerdo con el momento en que entran a actuar sobre el aire, por su composición, y química, los contaminantes se pueden clasificar en:

- Contaminantes primarios son aquellos que entran directamente al aire, como resultado de fenómenos naturales (erupciones volcánicas, lluvia, vientos) o de actividades antropogénicas, es decir, producidas por el ser humano.
- Contaminantes secundarios aquellos que provienen de las reacciones químicas entre los contaminantes primarios existentes en la atmósfera. Por ejemplo, el

gas ozono (O₃) se forma tras una reacción entre la luz solar y óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), llamados precursores del ozono. Este tipo de ozono es tóxico para las plantas, los animales y seres humanos. [11]

En la tabla 1 se indican los tipos de contaminantes dependiendo de la fuente de la que provienen.

Tabla 1: Fuentes de contaminantes naturales y artificiales [11]

| FUENTES NATURALES | FUENTES ARTIFICIALES | |
|--|---|---|
| | FIJAS | MÓVILES |
| Volcanes Incendios forestales por rayos Plantas en descomposición (agua y suelo) Océanos Suelo Tormentas eléctricas | Centrales térmicas Centrales nucleares Procesos industriales Incineración de residuos Calefacciones domésticas Quema de la biomasa | Vehículos diesel Vehículos gasolina Sin plomo |

1.3.3. Contaminantes y sus efectos sobre la salud humana

Según la OMS unos 3 millones de muertes al año están relacionadas con la exposición a la contaminación de aire de exteriores. En interiores, la contaminación puede llegar a niveles preocupantes para la salud humana. En 2012, según las estimaciones, 6,5 millones de muertes (11,6% de todas las muertes mundiales) estuvieron relacionadas con la contaminación del aire tanto de interiores como de exteriores, el 94% de las muertes se deben a enfermedades no transmisibles, sobre todo a enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, la neumopatía obstructiva crónica y el cáncer de pulmón. Las infecciones respiratorias agudas pueden aumentar su riesgo de contraerse por una mala calidad del aire [12].

Entre los contaminantes más comunes para la salud humana se encuentran:

Monóxido de Carbono (CO): El monóxido de carbono es un gas que carece de color, olor y sabor, y no causa irritación. Se puede encontrar tanto en espacios interiores como al aire libre, y se genera a partir de la combustión incompleta del carbón. Tanto las actividades humanas como las fuentes naturales contribuyen a su producción. El escape de los automóviles es la principal fuente antropogénica de monóxido de carbono.

Una alta exposición al monóxido de carbono puede ser letal. La intoxicación con monóxido de carbono es la causa principal de muertes debidas a envenenamiento en los Estados Unidos como lo indica la Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades (ATSDR). En personas que inhalaron monóxido de carbono se han descrito dolor de cabeza, náusea, vómitos, mareo, visión borrosa, confusión, dolor en el pecho, debilidad, falla cardíaca, dificultad para respirar, convulsiones y coma. Las personas que sufren de enfermedades al corazón o al pulmón son más susceptibles a los efectos del monóxido de carbono. [13]

Dióxido de carbono (CO₂): el dióxido de carbono es un gas incoloro de origen natural que se manifiesta en la atmósfera como un gas traza (es decir, que ocupa un volumen menor al 1% del total atmosférico). El dióxido de carbono es esencial en el ciclo de vida de la Tierra y desempeña un papel importante en la regulación climática del planeta. Su presencia se debe a procesos naturales, como fenómenos geotérmicos y biogeoquímicos, que incluyen la respiración de los organismos vivos y su descomposición. Además, se genera de forma artificial debido a diversas actividades humanas e industriales, como la quema de combustibles fósiles, gas natural y carbón. Con ellas, su concentración en la atmósfera está en aumento. [14]

Respirar altas concentraciones de dióxido de carbono de manera prolongada puede conducir a cuadros como hipercapnia – el envenenamiento por CO₂ – con síntomas como alta presión sanguínea, enrojecimiento de la piel, espasmos musculares y respiratorios, dolores de cabeza, y más. Respirar mayores concentraciones de CO₂ también puede conducir a efectos nocivos para el corazón, reduciendo su fuerza de contracción, produciendo síntomas cardiovasculares como taquicardias, arritmias e isquemias. Al mismo tiempo, es un vasodilatador que afecta arterias y venas; es el dilatador cerebrovascular más potente que se conoce, y también afecta al sistema respiratorio: puede ocasionar hiperventilación, cianosis y edemas pulmonares en las personas. [1]

Humedad y temperatura: En los ambientes interiores la capacidad de regulación de la temperatura viene dado por los sistemas de calefacción, ventilación y climatización. El cuerpo humano tiene la capacidad de regular su temperatura corporal en un margen de grados. Para que haya un confort térmico en un ambiente interior, la mayoría de las personas que lo habitan deben percibir una sensación de bienestar general de humedad y temperatura.

Una ventilación adecuada es un importante factor para el control de la humedad y prevención de la condensación. El hacinamiento y la falta de aportación de aire fresco son factores que favorecen la transmisión de agentes infecciosos. [14]

1.3.4. Normativas nacionales e internacionales para calidad del aire

A nivel nacional la norma ecuatoriana de la calidad del aire brinda una visión acerca de los límites permisibles de contaminantes y los métodos que se deberán tomar en consideración al determinar la cantidad de contaminantes en el aire, a continuación, se determinarán cuáles son las normativas dictadas a nivel nacional como internacional en cuanto a materia de calidad del aire.

Normativa nacional:

La Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Esta norma establece:

- Los objetivos de calidad del aire ambiente.
- Los límites permisibles de los contaminantes criterio y contaminantes no convencionales del aire ambiente.
- Los enfoques y técnicas utilizadas para identificar y medir los agentes contaminantes presentes en el aire circundante.

El propósito principal de esta regulación es salvaguardar la salud humana, la calidad del aire circundante, el bienestar de los ecosistemas y el ambiente en general. Para lograr este objetivo, la norma establece los niveles máximos permitidos de

contaminantes en el aire a nivel del suelo. Además, proporciona los métodos y procedimientos necesarios para determinar las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente.[14]

Normativa internacional:

A nivel mundial no se puede definir una normativa común. Todavía no existe en el derecho internacional público un compromiso jurídico claro que contenga normas de calidad del aire ambiente que sea compatible con la vida y la salud de los seres humanos y el medio natural a nivel mundial, pero algunos de los organismos que se encargan de evaluar normativas para calidad del aire son:

- OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional): La Norma de protección respiratoria de OSHA establece que los empleadores deben asegurarse de que los cilindros utilizados para suministrar aire respirable a los respiradores tengan un certificado de análisis que demuestre que el aire cumple con los requisitos propuestos [15].
- EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos): La Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos está autorizada para establecer Normas Nacionales de Calidad del Aire (National Ambient Air Quality Standards, NAAQS) primarias y secundarias para contaminantes de "criterio" que ponen en peligro la salud o el bienestar públicos.[16]
- ASHRAE 62.1 (Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado): El estándar 62.1 establece las tasas de ventilación mínimas y otras medidas necesarias para garantizar una calidad del aire interior (IAQ) aceptable para los ocupantes humanos y para reducir al mínimo los efectos adversos para la salud. Esta norma proporciona procedimientos y métodos para cumplir con los requisitos mínimos de ventilación y IAQ, dirigidos a ingenieros, profesionales del diseño, propietarios y autoridades jurisdiccionales en áreas donde se han adoptado códigos modelo. [17]
- ACIGH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales): Esta organización es un grupo de profesionales de la industria que mantiene su propia lista de estándares de calidad del aire. Estas

normas se basan en la ciencia rigurosa y la experiencia de la industria. Estos estándares son mucho más estrictos que los estándares OSHA. [18]

1.3.5. Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son sistemas de comunicación que emplean ondas de radio para conectar dispositivos, sin la necesidad de utilizar cables físicos. Estas redes cumplen diferentes propósitos, ya sea reemplazando redes cableadas en algunos casos, o proporcionando acceso a datos corporativos desde ubicaciones distantes en otros casos.

Las tecnologías inalámbricas son un eje fundamental en las telecomunicaciones actuales, dando paso a grandes cantidades de información transmitida sin necesidad de un medio guiado lo que permite una reducción considerable de costos y una mayor cantidad de usuarios utilizando medios inalámbricos para su uso y beneficio. Dada su versatilidad es utilizada en lugares cotidianos como hogares, oficinas, centros comerciales, escuelas, etc. El uso de una tecnología inalámbrica permite también que los usuarios tengan mayor libertad de movimiento mientras utilizan un dispositivo con acceso a internet. Pero las aplicaciones del WIFI van más allá del acceso a internet teniendo una amplia entrada en cuanto al uso de IOT (Internet of Things o Internet de las Cosas). En la figura 2 se muestra la clasificación de las tecnologías inalámbricas según su alcance.

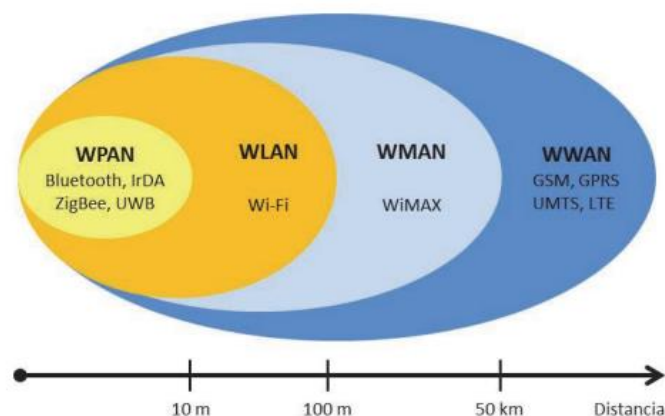


Figura 2. Clasificación de redes inalámbricas [19]

Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

Las redes inalámbricas de área personal permiten la comunicación en un rango de distancias muy corto, unos 10 metros. A diferencia de otras redes inalámbricas, las WPAN (Wireless Personal Area Networks) se distinguen por requerir poca o ninguna infraestructura o conectividad directa fuera del enlace establecido. Esto permite la implementación de soluciones pequeñas, eficientes en energía y de bajo costo en una amplia variedad de dispositivos. Estas redes se caracterizan por su bajo consumo de energía y una velocidad de transmisión más reducida en comparación con otras tecnologías inalámbricas. Se basan en tecnologías como Bluetooth, IrDA, ZigBee o UWB, como se indica en la figura 3 la conectividad Bluetooth admite diversos periféricos funcionando dentro de un área personal inalámbrica [19]



Figura 3. Redes WPAN [19]

Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Las redes inalámbricas de área local (WLAN) se han desarrollado con el objetivo de brindar conectividad inalámbrica en áreas con un alcance típico de hasta 100 metros. Estas redes son utilizadas principalmente en entornos como hogares, escuelas, salas de computadoras y oficinas para permitir la conexión de dispositivos sin necesidad de cables. Esto proporciona a los usuarios la capacidad de moverse dentro de un área de cobertura local y permanecer conectado a la red, como se indica en la figura 4.



Figura 4. Esquema de una WLAN en el hogar [19]

Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)

Las redes inalámbricas de área metropolitana permiten a los usuarios establecer conexiones inalámbricas entre diferentes ubicaciones dentro de una misma área metropolitana, las mismas se destacan por tener un rango de alcance de decenas de kilómetros y por lo general, se pueden establecer conexiones entre los edificios de oficinas de una ciudad o en los campus universitarios, las WMAN se basan en el estándar IEEE 802.16, denominado WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). WiMAX es una tecnología de comunicaciones inalámbricas que se basa en una arquitectura punto a multipunto. Su objetivo principal es proporcionar una alta velocidad de transmisión de datos en redes de área metropolitana. Esta tecnología permite la interconexión de redes inalámbricas LAN más pequeñas a través de WiMAX, lo que da lugar a la creación de una red de área metropolitana inalámbrica (WMAN) más amplia y con mayor cobertura. Gracias a WiMAX, es posible establecer conexiones eficientes y de alta velocidad en áreas metropolitanas, brindando servicios de Internet de banda ancha y facilitando la conectividad a múltiples dispositivos en distintos lugares de la ciudad. Consecuentemente, la creación de redes entre ciudades puede lograrse sin la necesidad de cableado costoso, en la figura 5 se ejemplifica como la conectividad inalámbrica usando WiMax permite el acceso a internet sin necesidad de cableado costoso [19], [20]

WiMAX es similar a Wifi, pero proporciona cobertura a distancias mayores. Mientras que Wifi está destinado a proporcionar cobertura en áreas relativamente pequeñas, como en oficinas o hotspots, WiMAX opera en dos bandas de frecuencia, una mezcla de banda con licencia y banda sin licencia, de 2 GHz a 11 GHz y de 10 GHz a 66 GHz, pudiendo alcanzar velocidades de transmisión próximas a 70 Mbps en una distancia de 50 km a miles de usuarios desde una única estación base lo que se indica en la figura 5 [19]

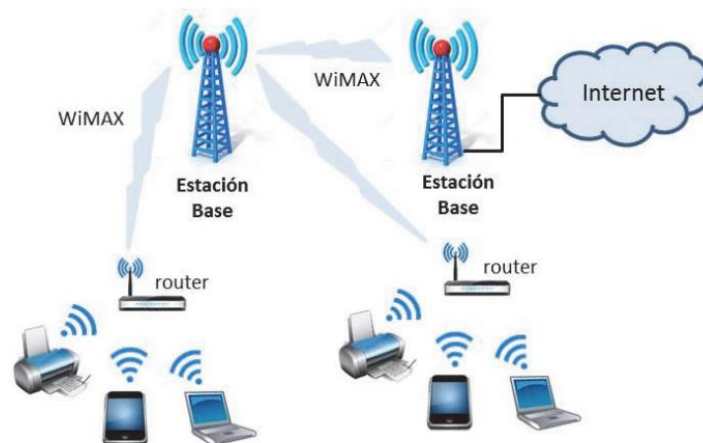


Figura 5. WiMax [19]

Redes inalámbricas de área amplia (WWAN)

Las redes inalámbricas de área amplia son un tipo de redes que necesitan de una tecnología especial, más precisamente de red celular, para poder brindar un servicio de telecomunicaciones de forma eficiente. Entre los servicios que ofrecen las redes inalámbricas de área amplia se incluye el acceso a Internet, llamadas telefónicas y transmisión de videos. Estas redes se extienden más allá de los 50 kilómetros y generalmente operan en frecuencias con licencia. Son capaces de abarcar grandes áreas, como ciudades o incluso países, mediante el uso de múltiples sistemas de satélites o ubicaciones con antenas que son atendidas por proveedores de servicios de Internet. Este tipo de redes brinda conectividad a larga distancia y es especialmente útil en áreas geográficamente dispersas donde la implementación de redes cableadas sería costosa o impracticable. [19], [21]

1.3.6. Tecnología WiFi

WiFi es una tecnología que permite la conexión inalámbrica entre una variedad de dispositivos electrónicos, como computadoras, smartphones, tablets, televisores y consolas de videojuegos. Es importante destacar que, WiFi es una marca registrada por la Wi-Fi Alliance, una organización dedicada a promover y certificar productos que cumplen con las normas de interoperabilidad establecidas. Esta tecnología surgió como una solución para establecer conexiones inalámbricas que fueran compatibles con diferentes dispositivos. El objetivo de la Wi-Fi Alliance fue diseñar una marca reconocible que facilitara la adopción de tecnología inalámbrica y garantizara la compatibilidad entre los dispositivos. Gracias a WiFi, los usuarios pueden disfrutar de conectividad inalámbrica conveniente y flexible en una amplia gama de dispositivos. [22]

Arquitectura de Red

La arquitectura lógica del estándar 802.11 contiene varios componentes principales: la estación (STA), el punto de acceso inalámbrico (AP), el conjunto independiente de servicios básicos (IBSS), el conjunto de servicios básicos (BSS), la red de distribución (DS), y el conjunto de servicios extendidos (ESS). Algunos de los componentes de la arquitectura lógica 802,11 corresponden directamente a dispositivos de hardware, tales como estaciones y puntos de acceso inalámbricos. [23]

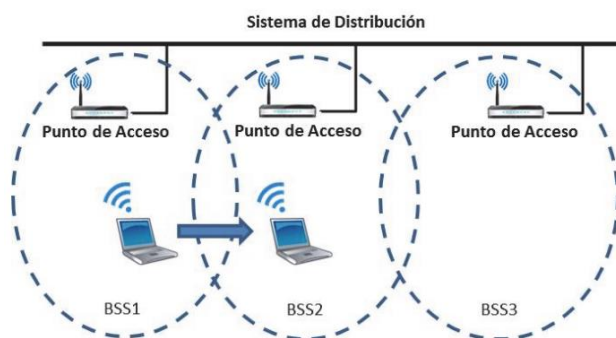


Figura 6. Arquitectura de red Wifi [23]

1.3.7. IoT

El término IoT, o Internet de las cosas, se refiere a la red global de dispositivos interconectados y a la tecnología que permite la comunicación entre ellos y con la nube. Gracias al avance de los chips de bajo costo y las telecomunicaciones de alta

velocidad, actualmente se cuenta con miles de millones de dispositivos conectados a Internet. Esto significa que dispositivos de uso cotidiano, como cepillos de dientes, aspiradoras, automóviles y máquinas, pueden utilizar sensores para recopilar datos y responder de manera inteligente a los usuarios. La IoT permite que estos dispositivos formen parte de un ecosistema conectado, mejorando la eficiencia, la comodidad y la interacción en diversos ámbitos, como el hogar inteligente, la salud, la industria y el transporte. [24]

El término "Internet de las Cosas" (IoT) se refiere a una tecnología que conecta objetos cotidianos a Internet, permitiéndoles intercambiar, recopilar y procesar información sobre su entorno físico con el objetivo de brindar servicios de valor añadido a los usuarios. Además, los dispositivos IoT tienen la capacidad de reconocer eventos o cambios y reaccionar de manera autónoma y apropiada. Esta tecnología revoluciona la forma en que interactuamos con el mundo que nos rodea, objetos como electrodomésticos, automóviles, dispositivos de salud y sistemas industriales pueden estar conectados, recopilando datos y tomando decisiones inteligentes basadas en esa información. El IoT tiene aplicaciones en diversos sectores, desde el hogar inteligente hasta la industria, la salud, la agricultura y la logística, entre otros, brindando una amplia gama de beneficios y oportunidades. [25]

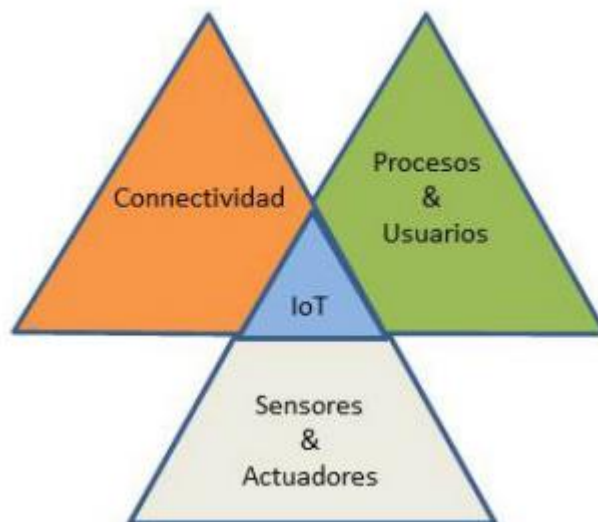


Figura 7. Estructura IoT [27]

Sensores IoT

Múltiples sensores se pueden unir a un objeto o dispositivo para medir una amplia gama de variables físicas o fenómenos y luego transmitir todos los datos a la nube. [26]

Tabla 2. Clasificación de sensores IoT

| Clasificación de Sensores | |
|---------------------------------|--|
| Proveedores de datos del sensor | Las entidades empresariales que implementan y administran por sí mismos sensores. |
| Organizaciones | Público o Privado. Infraestructuras públicas. Las organizaciones comerciales. Corporaciones privadas: los proveedores de tecnología y servicios. |
| Personal y Hogares | Los teléfonos móviles, relojes inteligentes, giroscopios, cámaras, GPS, acelerómetros, micrófonos, ordenadores portátiles, alimentos y artículos para el hogar, tales como televisores, cámaras, congeladores, hornos de microondas, lavadoras, electrodomésticos inteligentes, etc. |

Elaborado por: el investigador en base a [27]

1.3.8. Protocolos de comunicación inalámbrica para IoT

Los dispositivos IoT se comunican mediante protocolos de IoT. El protocolo de Internet (IP) es un conjunto de reglas que determina cómo se envían los datos a Internet. Los protocolos de IoT garantizan que un dispositivo, una puerta de enlace o un servicio lea y comprenda la información enviada por otro dispositivo o un sensor.[27]

- **COAP:** Protocolo de red y ancho de banda restringidos diseñado para que dispositivos con capacidad limitada puedan conectarse en la comunicación entre máquinas. CoAP es también un protocolo de transferencia de documentos que se ejecuta a través del protocolo de datagramas de usuario (UDP).
- **MQTT:** Protocolo de mensajería diseñado para la comunicación ligera entre máquinas que se usa principalmente para las conexiones de poco ancho de banda con ubicaciones remotas. Utiliza un patrón de publicación-suscripción y es ideal para dispositivos pequeños que requieren un uso eficiente del ancho de banda y de la batería.
- **DDS:** Protocolo de comunicación punto a punto versátil que hace de todo, desde ejecutar pequeños dispositivos hasta conectar redes de alto rendimiento. DDS optimiza la implementación, aumenta la confiabilidad y reduce la complejidad.

1.3.9. Arquitectura IoT

La arquitectura de sistemas de IoT se puede dividir en cuatro capas: capa de detección de objetos, la capa de intercambio de datos, capa de integración de la información, y la capa de servicios de aplicaciones.[26]

Los dispositivos inteligentes pueden estar ya conectados a través de Internet tradicional. Sin embargo, la IoT incorpora la capa de detección que reduce los requisitos de la capacidad de esos dispositivos y permite su interconexión. Sensores consumidores de datos se comunican con sensores o propietarios de estos a través de la capa de integración de la información que es responsable de toda la comunicación y las transacciones. Mientras tanto surgen nuevos requerimientos y desafíos para el intercambio de datos, el filtrado y la integración de la información, la definición de nuevos servicios para los usuarios, así como un incremento de la complejidad de la arquitectura de la red. [26]

Tabla 3. Arquitectura IoT

| Arquitectura IoT de cuatro capas. | |
|---------------------------------------|--|
| Capa de detección | Sensores, los objetos físicos y la obtención de datos. |
| Capa de Intercambio de Datos | Transmisión transparente de datos a través de redes de comunicación. |
| Capa de integración de la información | El procesamiento de la información incierta adquirida de las redes, filtrado de datos no deseados e integración de información principal en conocimiento útil para los servicios y los usuarios finales. |
| Capa de servicio de aplicación | Da servicios de contenido a los usuarios. |

Elaborado por: el investigador en base a [27]

1.3.10. Integración IoT

La integración significa hacer que las aplicaciones y datos diseñados independientemente funcionen bien juntos. La integración de IoT significa hacer que la combinación de nuevos dispositivos IoT, datos de IoT, plataformas de IoT y aplicaciones de IoT, combinados con activos de TI (aplicaciones comerciales, datos heredados, móviles, etc.), funcionen bien juntos en el contexto de la implementación de soluciones comerciales de IoT de extremo a extremo. [28]

1.3.11. Sensores de calidad del aire

Los sensores de calidad de aire son dispositivos que detectan y miden químicos y contaminantes específicos en el aire, estos dispositivos pueden usarse para monitorear la calidad de aire interior, exterior o crear sensores móviles para realizar mediciones en lugares de difícil acceso. [28][29]

Tipos de sensores de calidad de aire

La calidad del aire se puede evaluar por dos características: partículas suspendidas y composición química. Estas tecnologías están diseñadas para recopilar datos precisos y confiables sobre los niveles de contaminantes y otros parámetros relevantes en el aire que respiramos.[29]

Sensores NDIR:

NDIR (Infrarrojo no dispersivo), son sensores espectroscópicos empleados para detectar contaminantes en un ambiente gaseoso por su absorción característica. Los componentes principales de este sistema incluyen una fuente infrarroja, un tubo de luz, un filtro de interferencia de longitud de onda y un detector de infrarrojos. Durante la medición, el gas de interés se introduce en la cámara de muestra mediante bombeo o difusión. La concentración del gas se determina electroópticamente mediante la absorción de una longitud de onda específica en el rango infrarrojo (IR). La luz infrarroja es dirigida a través de la cámara de muestra y alcanza el detector. Este último cuenta con un filtro óptico que bloquea todas las longitudes de onda excepto aquellas que pueden ser absorbidas por las moléculas del gas seleccionado.

Este enfoque de detección infrarroja es ampliamente utilizado en la monitorización y análisis de gases, permite mediciones precisas y selectivas de concentraciones de gas en muestras. La tecnología se basa en la capacidad de los gases para absorber radiación infrarroja en longitudes de onda específicas, lo que permite la identificación y cuantificación de diferentes gases presentes en la muestra. Estos sistemas de detección infrarroja se utilizan en diversas aplicaciones, como el control de calidad del aire, la

detección de fugas de gases, el monitoreo de emisiones industriales y la seguridad en entornos de trabajo. Lo ideal sería que las moléculas de otro tipo de gas no absorbieran la luz de esa longitud de onda, y no afectasen a la cantidad de luz que llega al detector, al igual como se indica en la figura 8.

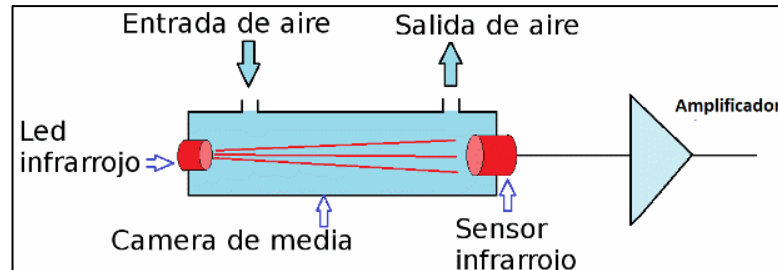


Figura 8. Sensor NDIR [29]

Sensores Electroquímicos:

Este tipo de sensor se basa en cambios en las propiedades eléctricas de ciertos materiales en presencia de contaminantes. Está basado en un elemento electroquímico semiconductor que genera un voltaje de salida proporcional a la concentración del gas o producto químico que se mide. En la figura 9 se puede apreciar la estructura de uno de estos sensores. Sin embargo, la precisión de la medición se ve afectada por la temperatura y humedad.[29], [30]

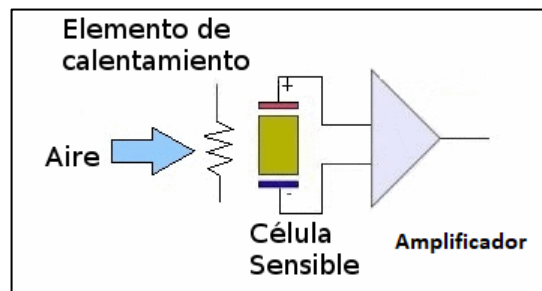


Figura 9. Sensores electroquímicos [29]

1.3.12. Calidad de aire interior y exterior

El concepto de "aire interior" generalmente se refiere a entornos interiores no industriales, como edificios de oficinas, instalaciones públicas (colegios, hospitales, teatros, restaurantes, etc.) y viviendas residenciales. Se utiliza para describir la calidad del aire en estos espacios cerrados donde las personas pasan la mayor parte de su tiempo. Es importante asegurar una buena calidad del aire interior, puede tener un

impacto significativo en la salud y el bienestar de los ocupantes. Las concentraciones de contaminantes en el aire interior de estas estructuras suelen ser de la misma magnitud que las encontradas habitualmente al aire exterior, y mucho menores que las existentes en el medio ambiente industrial, donde se aplican normas relativamente bien conocidas con el fin de evaluar la calidad del aire. [31]

La contaminación del aire al aire libre, también conocida como contaminación del aire ambiental exterior, es un término amplio que se utiliza para describir la presencia de contaminantes en el aire en entornos al aire libre. Se considera que la calidad del aire al aire libre es deficiente cuando los niveles de contaminantes alcanzan concentraciones lo suficientemente altas como para tener un impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente. Por otro lado, la contaminación del aire urbano al aire libre se refiere específicamente a la contaminación del aire en áreas urbanas, como ciudades y sus alrededores. La contaminación del aire al aire libre es un importante problema medioambiental y para la salud que afecta a personas de todos los niveles de ingresos, tanto en países de ingresos bajos como medianos y altos. Es esencial abordar este riesgo y tomar medidas para reducir la contaminación del aire exterior y proteger la salud de las personas y el medio ambiente.[32], [33]

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar un prototipo para monitorear la calidad del aire en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi y sus alrededores.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la calidad de aire en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi.
- Analizar la tecnología para monitorear la calidad de aire y modelos de arquitectura IoT.
- Diseñar un prototipo para monitorear la calidad de aire en la Universidad técnica de Ambato.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para la elaboración del prototipo de monitoreo de calidad del aire se utilizó un módulo ESP8366 que fue el encargado de procesar la información obtenida por los sensores MH-Z19B de dióxido de Carbono (CO₂), MQ-9 de monóxido de carbono (CO) y el DHT22 un sensor de humedad y temperatura. Se utilizó un conmutador automático de baterías que permitió que el prototipo funcione cuando existan cortes de energía durante un período de tiempo, así como baterías de reserva para el sistema.

2.2. Métodos

2.2.1. Modalidad de investigación

Para el desarrollo del trabajo de titulación se emplearon las siguientes modalidades de investigación.:

Se considera a la investigación modalidad aplicada al apoyarse en información sobre tecnologías IoT con aplicaciones para monitoreo y control de variables ambientales para determinar la calidad del aire. La investigación obtuvo información de repositorios universitarios con proyectos de investigación y artículos científicos que proporcionaron datos acerca de investigaciones previas en temas relacionados.

Debido a la forma en la que se tomaron los datos alrededor de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi se aplicó la investigación de campo. Se considera una investigación experimental en vista que se basó en el desarrollo de un prototipo que se probó y comparó con valores propuestos por las diversas entidades regulatorias de calidad del aire.

2.2.2. Recolección de información

Para la recolección de la información necesaria para el desarrollo del proyecto se empleó la técnica documental que se basó principalmente en tesis, artículos científicos, libros o fuentes bibliográficas que aportaron de manera significativa al estudio de la calidad del aire exterior.

2.2.3. Procesamiento y análisis de datos

Con la información recolectada se procedió de la siguiente manera:

- Revisión de información recopilada.
- Compendio de información acerca de los dispositivos electrónicos para realizar una comparación general.
- Estudio del sitio en el que se implementará el prototipo.
- Pruebas del prototipo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

La implementación de un sistema de monitorización de calidad del aire en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi se realizará mediante el uso de tecnología inalámbrica y microcontroladores junto con sensores para medir la calidad del aire, basado en una arquitectura IoT que permitirá la obtención de resultados y medición de contaminantes del aire para un monitoreo constante en algunas zonas de la universidad.

3.2. Desarrollo de la propuesta

3.2.1. Requerimientos del sistema

La Universidad Técnica de Ambato es una Institución de Educación Superior, en sus predios de Huachi funcionan 8 facultades, lo que origina que exista una gran cantidad de estudiantes, por lo tanto, resulta imperativo llevar a cabo una supervisión continua de la calidad del aire en espacios interiores. Pueden surgir dificultades en la calidad del aire en ambientes como salas de enseñanza o aulas, manifestándose como el síndrome del edificio enfermo. Esto implica la presencia de una concentración elevada de sustancias contaminantes o partículas suspendidas en el aire, entre las principales complicaciones de salud pueden presentarse el ardor de ojos, picazón de garganta, dolor de cabeza, fatiga, entre otros. Los contaminantes más comunes en el ambiente son el dióxido de carbono (CO₂) y el monóxido de carbono (CO), junto con otros factores como la humedad y temperatura ambiental que puede afectar a que las personas no se sientan cómodas en los interiores de las aulas de clases.

Para el monitoreo de la calidad de aire es primordial desarrollar un dispositivo que cumpla con esta función, el dispositivo deberá estar en el interior de las aulas para el monitoreo y estará constituido por los siguientes elementos:

1) **Sensores.** - Para la adquisición de las variables ambientales, CO, CO₂, temperatura y humedad.

2) **Comunicación Inalámbrica.** - El prototipo deberá funcionar sin la necesidad de estar conectado a una red mediante cable, se usará conectividad WIFI para el envío de datos al servidor en la nube.

3) **Sistema de alimentación autónoma,** - El sistema deberá funcionar mediante alimentación externa o baterías en caso de cortes de energía para que las mediciones se mantengan.

3.2.2. Esquema general del sistema

Para el presente proyecto se realizó el siguiente esquema donde se muestran las etapas del sistema en base a la medición, adquisición, visualización y alimentación. Como se detallan en la figura 10.

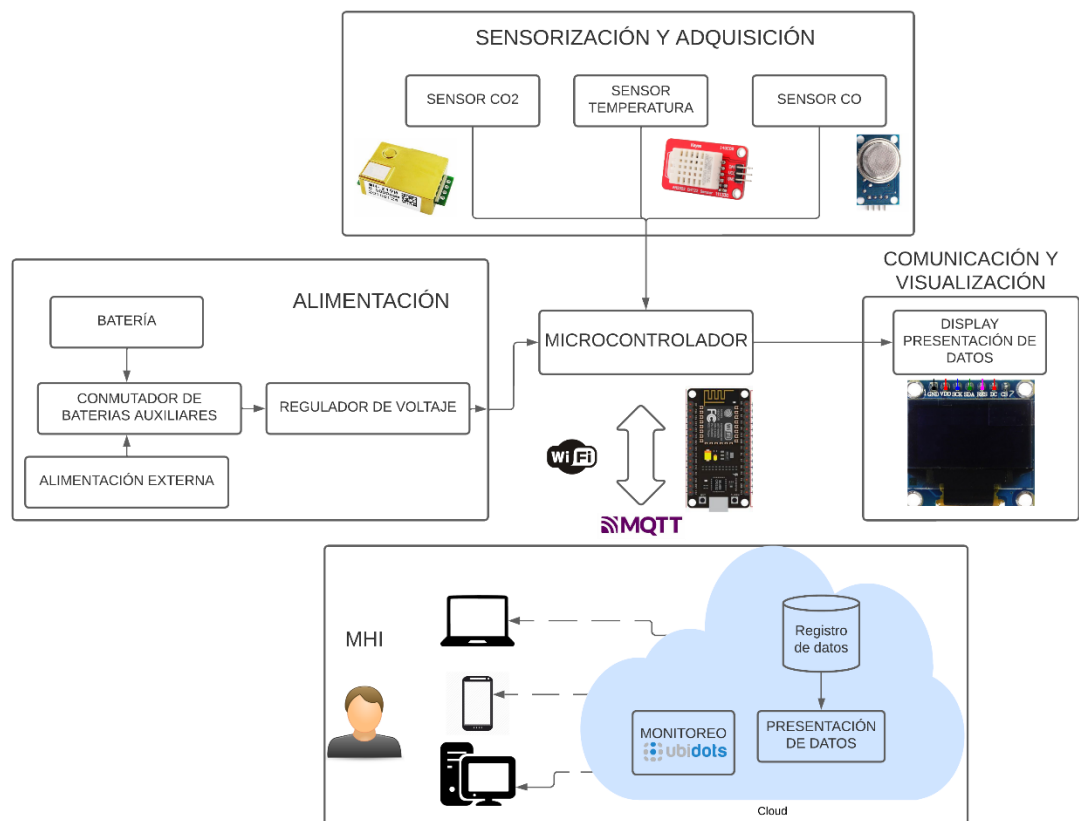


Figura 10. Esquema General del sistema de monitoreo de calidad del aire
Elaborado por: El investigador.

Es importante recalcar que en las diferentes etapas de implementación del prototipo se utilizará un servidor en la nube alojado en la aplicación Ubidots la que permitió realizar las mediciones, almacenamiento y el monitoreo de las variables del sistema.

A continuación, se explicarán las fases de funcionamiento del sistema de monitorización de calidad del aire.

- Alimentación: En base a un conmutador de baterías auxiliares el prototipo tendrá protección en contra de cortes de energía repentinos con baterías que evitarán la pérdida de datos y el regulador de voltaje evitará que los voltajes superen el límite máximo permitido para la alimentación del microcontrolador.
- Sensorización y adquisición: En esta fase los sensores serán los encargados de la toma de datos que será enviada a una base datos que los almacenará para luego permitir la exploración mediante un almacenamiento de la toma de datos realizada.
- Interfaz humano máquina (HMI): Se mostrarán los datos al usuario en cualquier dispositivo que tenga acceso a internet en los que se mostrarán los históricos de las mediciones, en esta interfaz se visualizarán también las gráficas de las mediciones históricas del sistema.

3.2.3. Diseño del prototipo

El diseño del prototipo se llevó a cabo utilizando software de diseño en 3D como TikerCAD y AutoCAD, se mostrarán los detalles del diseño, selección e implementación del dispositivo a continuación:

Selección de dispositivos.

Sensor de Monóxido de Carbono

Para la selección del sensor de monóxido de carbono se optó por el sensor electroquímico MQ-9 bien si tiene características similares al sensor MICS-6814 al no existir datos concisos con respecto a la sensibilidad y junto a la nula disponibilidad del sensor se optó por el sensor MQ-9 exclusivo para monóxido de carbono y con un rango

más amplio de medición de partículas por millón (PPM), La comparación se menciona en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación sensores CO

| Sensor | Pranair CO Sensor | MICS-6814 | MQ-9 |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Características | | | |
| Tipo de sensor | Electroquímico | Electroquímico | Electroquímico |
| Voltaje de operación | 5V | 4,9V | 5V |
| Precisión | 0,1ppm | N/D | 0,1ppm |
| Rango de operación | 0-50°C | -30°C +85°C | -20°C +50°C |
| Magnitud | Monóxido de carbono CO | Monóxido de carbono CO | Monóxido de carbono CO |
| Rango de medición | Hasta 500ppm | Hasta 1000ppm | Hasta 5000ppm |

Elaborado por: El investigador en base a [34]

Sensor de Dióxido de Carbono CO₂

La selección del sensor de CO₂ se realizó en base a la cantidad de ppm que puede medir para una mayor exactitud, por lo que el sensor elegido fue el MH-Z19B el mismo que tiene el rango más alto de medición de partículas por millón y una precisión mejor para la medición de Dióxido de Carbono, se muestra la comparación en la tabla 5.

Tabla 5. Comparación sensores CO₂

| Sensor | MH-711A | MICS-6814 | MH-Z19B |
|------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Características | | | |
| Tipo de sensor | Infrarrojo | Infrarrojo | Infrarrojo |
| Voltaje de operación | 5V | 5V | 5V |
| Precisión | +50ppm | +50ppm | +30ppm |
| Rango de operación | -40 +70°C | -20°C +60°C | -10°C +50°C |
| Magnitud | Dióxido de Carbono CO ₂ | Dióxido de Carbono CO ₂ | Dióxido de Carbono CO ₂ |
| Rango de medición | Hasta 6000 ppm | Hasta 2000ppm | Hasta 10000ppm |

Elaborado por: El investigador en base a [35]

Microcontrolador

Para el microcontrolador se tomó en cuenta que cuente con WIFI integrado para el caso de Arduino se debía conectar un shield que permita la comunicación WI-FI lo cual no era óptimo para el prototipo dado el gran tamaño del Arduino junto a su shield, se optó por el microcontrolador Nodemcu Esp8266 dada su alta velocidad de transmisión y los espacios en los que se realizarán las mediciones no exceden una distancia mayor a 1km por lo que el módulo Lora estaría siendo poco utilizado para el proyecto, su selección se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación Microcontrolador

| Microcontrolador Características | Arduino Shield WIFI | ESP8266 | Módulo LORA |
|---|--------------------------------------|----------------|--------------------|
| Frecuencia de funcionamiento | 16MHz | 160MHz | 32MHz |
| Voltaje de operación | 3.3-5V | 3.3-5V | 3.3-5V |
| Interfaz | SPI | SPI | SPI/I2C |
| Rango de operación | -20 +70°C | -40 +125°C | -40+85°C |
| Potencia de transmisión | 18dBm | 20,17,14 dBm | 18.5dBm |
| Velocidad de transmisión | 11Mbps | 54Mbps | 300Kbps |
| Sensibilidad de recepción | -88 dBm | -72dBm | -115.5dBm |
| Error de transmisión | N/D | 1% | <u>1%</u> |

Elaborado por: El investigador en base a [33]

Sensor de Temperatura y humedad

La selección del sensor de temperatura y humedad se basó en la precisión que podrá ofrecer y en qué ambiente se podrá utilizar, para esto el sensor DHT22 puede medir el aire circulante en el sitio, el prototipo no se limita a interiores se puede utilizar en exteriores, por lo que el uso del sensor en el prototipo es adecuado, la precisión del sensor DHT11 es menor y no se podrá utilizar en el prototipo, el sensor PT100 si bien puede medir temperaturas más altas es principalmente utilizado en ambientes industriales, se muestra su comparación en la tabla 7.

Tabla 7. Comparación sensor de Temperatura y Humedad

| Sensor de temperatura y humedad | DHT11 | DHT22 | PT100 |
|--|----------------------|----------------------|--------------|
| Características | | | |
| Voltaje de operación | 3.3-5V | 3.3-5V | 3.3-5V |
| Tipo | Digital | Digital | Analógico |
| Rango de operación | 0 +50°C | -40 +80°C | -200+232°C |
| Variable | Temperatura, Humedad | Temperatura, Humedad | Temperatura |
| Precisión | ±1% | ±0.5% | ±1% |
| Inmune al ruido | No | No | Si |
| Muestras por segundo | 0.5 | 1 | 0.5 |

Elaborado por: el investigador en base a [36], [37]

Módulo reductor de voltaje.

Para la selección del reductor de voltaje la principal característica a tomar en cuenta es la corriente de salida máxima y el voltaje de alimentación máxima ya que el prototipo cuenta con una alimentación máxima por debajo de los 500mA y 12v de entrada. Por lo que el reductor elegido fue el LM2596 por que cuenta con un limitador de corriente y tiene un mejor porcentaje de eficiencia de conversión, se muestra su comparación en la tabla 8.

Tabla 8. Comparación del reductor de voltaje

| Step down | LM317 | LM7805 | LM2596 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|---|
| Características | | | |
| Voltaje de entrada | 4.2-40 V | 5-18 V | 3.3-5V |
| Voltaje de Salida | 1.2-37 V | 24 V | 4.75-40 V |
| Corriente de salida | 1.5 A | 1 A | 1 A |
| Corriente máxima de entrada | 2.2 A | 1 A | 1 A |
| Temperatura de operación | 0-150°C | 0-150°C | -40-125°C |
| Protección | Protección Térmica | Protección térmica | Limitador de corriente y protección térmica |
| Eficiencia de conversión | 92% | 91% | 94% |

Elaborado por: El investigador en base a [38]–[40]

Selección del protocolo de comunicación.

Tabla 9: Comparación protocolos de comunicación.

| Protocolo | MQTT | HTTP | CoAP |
|------------------------|---|---|--------------------------------------|
| Características | | | |
| Tipo de protocolo | Protocolo de mensajería | Protocolo de transferencia de hipertexto | Protocolo de aplicación restringida |
| Eficiencia | Eficiencia en ancho de banda y consumo de energía | Eficiente para transferencias de gran cantidad de datos | Eficiente en redes de potencia baja. |
| Arquitectura | Publicación-suscripción | Solicitud-respuesta | Solicitud-respuesta |
| Seguridad | Usuario y contraseña | TLS | DTLS |
| Comunicación | Tiempo real | Petición-respuesta | Solicitud-Respuesta |
| Mensajería | Asíncrona | Síncrona y asíncrona | Asíncrona |
| Capa de transporte | TCP | TCP | UDP |

Elaborado por: El investigador en base a [41], [42]

El protocolo de comunicación que se puede utilizar para el mejor funcionamiento del prototipo es MQTT, se busca que el prototipo monitoree constantemente la calidad del aire por lo que una comunicación en todo momento es fundamental para el sistema por lo que MQTT se ajusta mejor a las necesidades del prototipo.

3.2.4. Simulación del diseño físico del prototipo.

Para el diseño del prototipo se utilizó la plataforma Tinkercad la que permitió un diseño amigable y simple para un contenedor para el prototipo como se indica en las figuras 11 y 12.

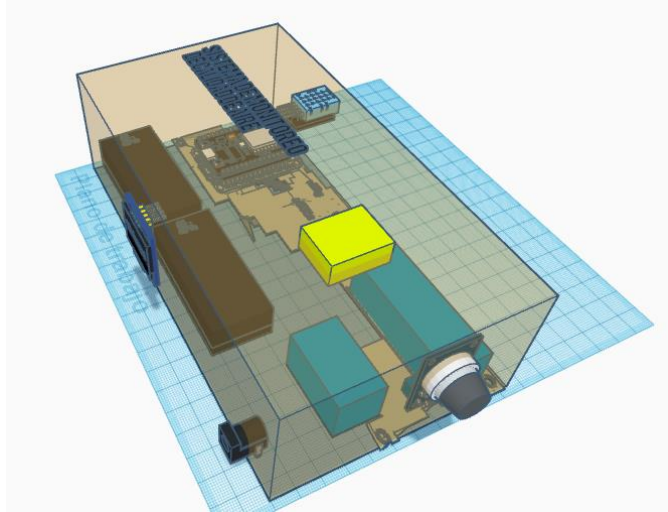


Figura 11. Diseño externo e interno del prototipo
Elaborado por: El investigador

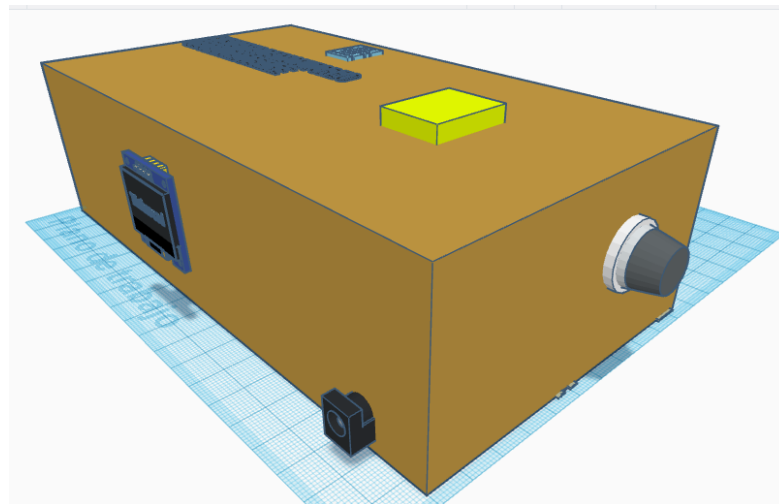


Figura 12. Diseño externo del prototipo
Elaborado por: El investigador

Se optó por un contenedor no metálico para evitar interferencias en la transmisión y comunicación.

Para el contenedor se busca que sea portable y simple de utilizar, las dimensiones se muestran a continuación en la figura 13.

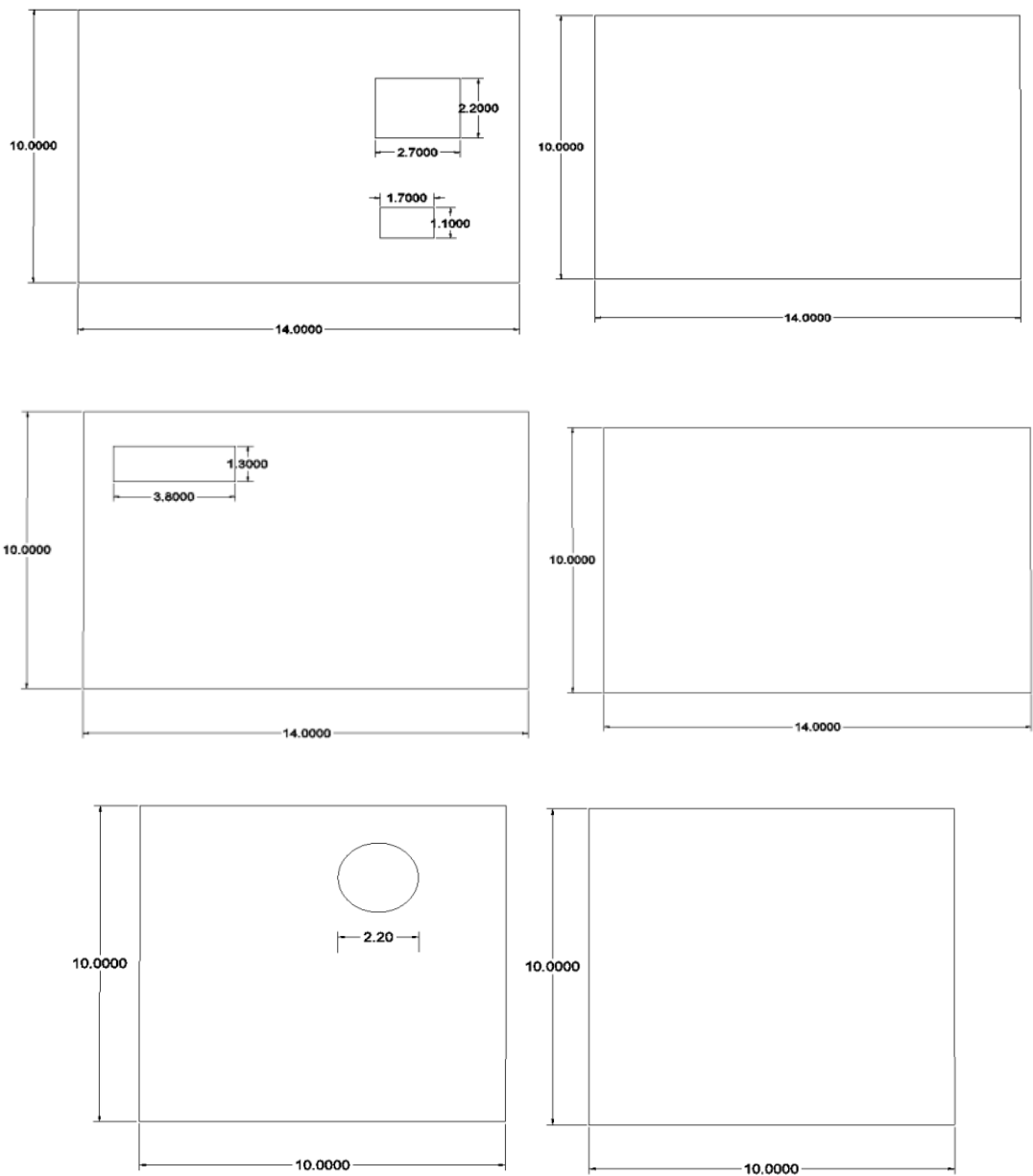


Figura 13. Esquema contenedor del prototipo
Elaborado por: El investigador

3.2.5. Diseño electrónico

El diseño del PCB se realizará de acuerdo con la figura 14 realizado en Proteus que muestra el estado de conexión entre los componentes del prototipo de monitoreo de calidad de aire

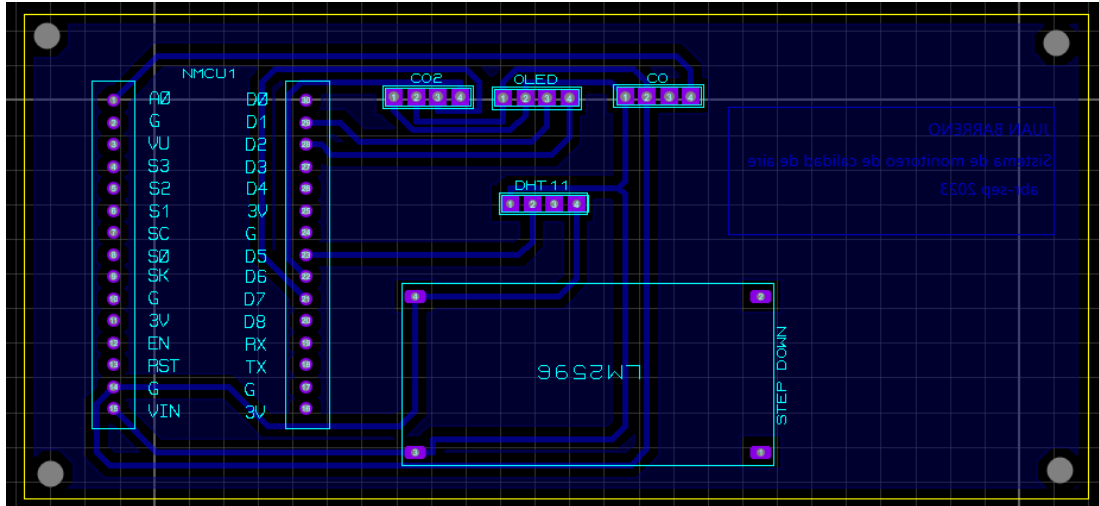


Figura 14. Diseño electrónico del prototipo
Elaborado por: El investigador

Diseño esquemático

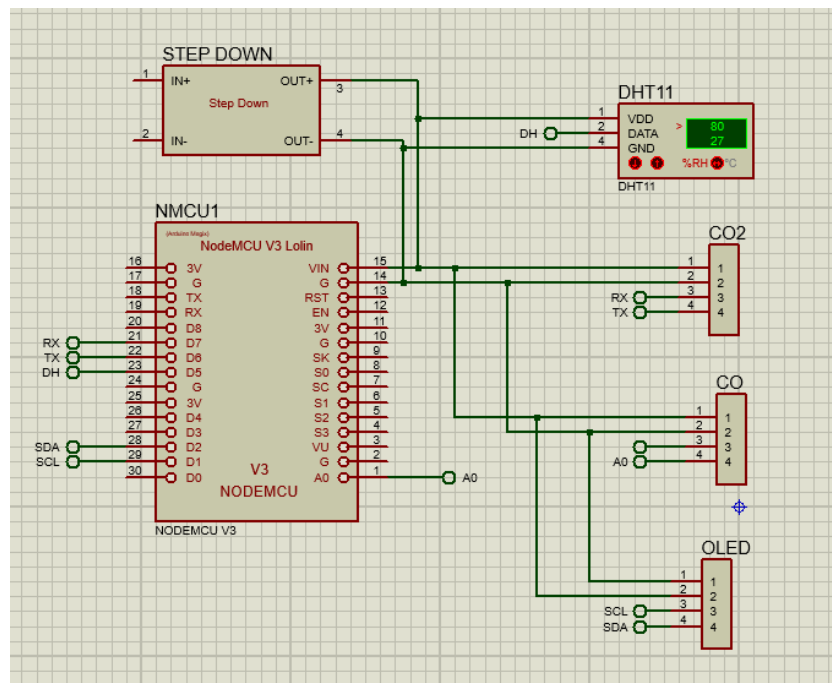


Figura 15. Diseño esquemático del prototipo
Elaborado por: El investigador

Para el dimensionamiento de la alimentación del sistema se tomó los valores de voltaje y corriente máxima de cada uno de los dispositivos que forman parte del sistema. En la tabla 9 se presenta la alimentación de cada uno de los elementos del prototipo:

Tabla 10. Alimentación de los elementos del prototipo [36][35][43][44]

| Componente | Voltaje (V) | Corriente (A) | Potencia (W) |
|------------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| NodemCU | 5 | 0,08 | 0,4 |
| MQ-9 | 5 | 0,15 | 0,75 |
| MH-Z19B | 5 | 0,06 | 0,3 |
| OLED 1306 | 5 | 0,011 | 0,055 |
| Step Down LM2596 | 5 | 0,01 | 0,05 |
| Conmutador automático baterías | 5 | 0,03 | 0,15 |
| Sensor Temperatura y humedad DHT22 | 5 | 0,0015 | 0,0075 |
| | Total | 0,3425 | 1,7125 |

Elaborado por: El investigador

Como se muestra en la tabla 9 el consumo del prototipo será de 342.5 mA por lo que se deberá calcular el tiempo que podrá permanecer el prototipo funcionando si dependiera únicamente de las baterías auxiliares en base al consumo total del prototipo. La fórmula empleada será:

$$Duracion\ bateria = \left(\frac{C}{Consumo} \right) * I$$

En donde:

C = Capacidad de la batería mAh

Consumo = Consumo total del prototipo

I = Índice de consumo de la batería

A continuación, se realiza el cálculo para baterías de 1000mAh y 2500mAh.

Para una batería de 1000mAh.

$$Duracion\ bateria = \left(\frac{1000mAh}{342.5mA} \right) * 0.7$$

$$Duracion\ bateria = 2.043\ horas$$

Para una batería de 2500mAh.

$$Duracion\ bateria = \left(\frac{2500mAh}{342.5mA} \right) * 0.7$$

$$Duracion\ bateria = 5.109\ horas$$

En base a estos cálculos se utilizarán baterías de 2500mAh para que tengan una duración más larga para las mediciones en los diversos puntos de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi porque se busca que el prototipo sea portátil.

La alimentación externa del prototipo se realizará con una fuente de alimentación de 9V

3.2.6. Desarrollo de la interfaz.

Para el desarrollo de la interfaz se optó por el uso de la plataforma Ubidots que permite visualizar y almacenar los datos medidos de la calidad del aire, misma plataforma permitió la conexión y medición del prototipo para la calidad del aire. En la figura 16 se muestra la interfaz de usuario.

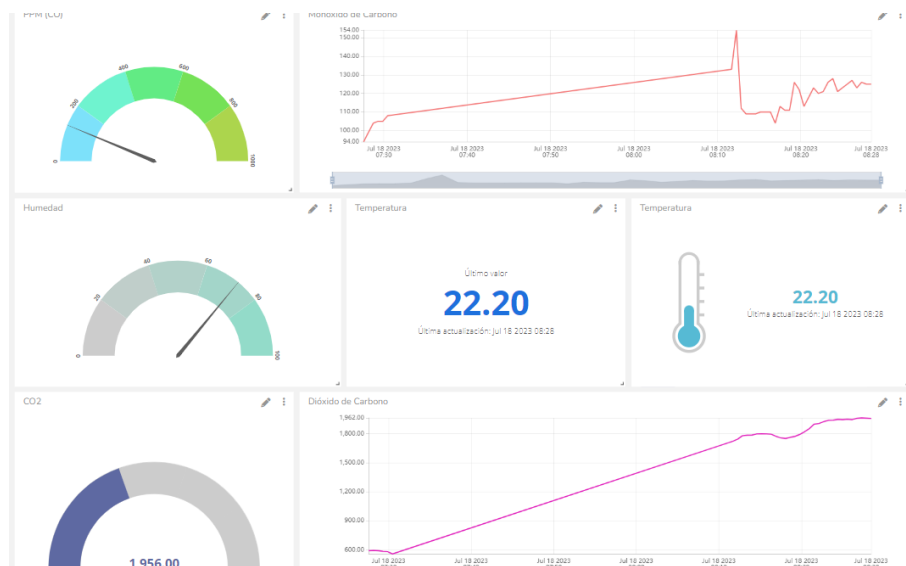


Figura 16. Interfaz gráfica para el prototipo de medición de calidad del aire.
Elaborado por: El investigador

Medidores de monóxido de carbono

Los primeros gráficos en la interfaz indicados en la figura 17 muestran la cantidad de partículas por millón de monóxido de carbono que se encuentran en el ambiente estos

medidores están acotados en 1000 ppm, porque de acuerdo con la cantidad de partículas propuestas por la normativa ASHRAE 62.1 una cantidad de partículas por encima de 1000 sería problemático para las personas.



Figura 17. Medidores de monóxido de carbono
Elaborado por: El investigador

Medidores de dióxido de carbono

Para el medidor de CO₂ se acotó en 5000ppm, al ser un gas más abundante en el aire sus concentraciones pueden llegar a ser bastante altas. Su medidor se indica en la figura 18.

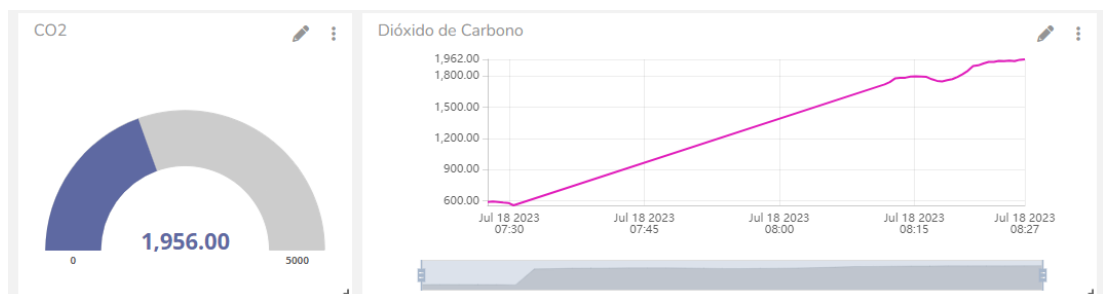


Figura 18. Medidores de dióxido de carbono
Elaborado por: El investigador

Medidores de temperatura y Humedad

La temperatura contará con indicadores que no excederán los 50°C, mientras que con la humedad se tendrá un máximo de 100%. Sus medidores y gráficas se muestran en la figura 19.



Figura 19. Medidor de temperatura
Elaborado por: El investigador

Se puede obtener los valores de los datos medidos a través de un histórico de los datos almacenados en la plataforma, como se muestra en la figura 20.

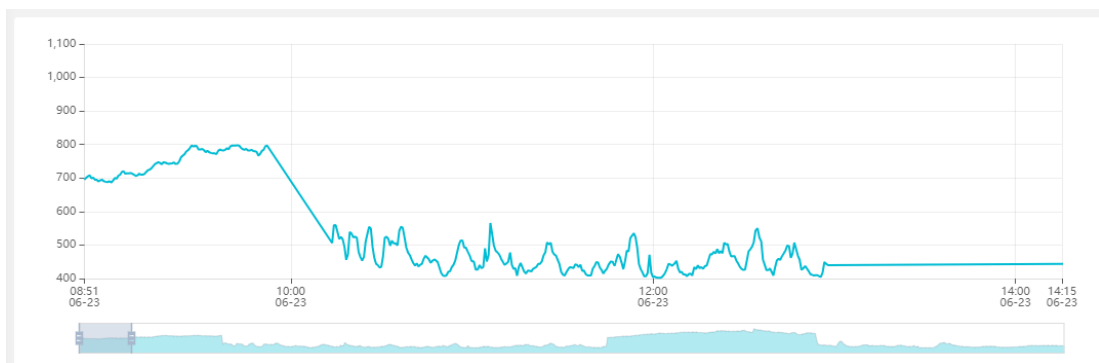


Figura 20. Histórico de mediciones
Elaborado por: El investigador

3.2.7. Implementación del prototipo

Luego de seleccionar los diferentes dispositivos del sistema junto con la plataforma de almacenamiento y visualización, se procedió a realizar la implementación del prototipo.

Ubicación del prototipo

De acuerdo con la Guía Técnica para la Calidad del Aire Interior en los edificios los sensores para monitoreo de calidad del aire en interiores se deben ubicar de 1.20m del suelo ya que la densidad de algunos gases tiende a hacer que floten por encima o por debajo del aire, por lo tanto, se considera que la altura del prototipo deberá ser a 1.20 metros del suelo para que esté a la altura de la respiración humana, la densidad de los

gases es importante para la ubicación del prototipo, ya que el CO es menos denso que el aire, la densidad del aire es 1.25kg/m^3 mientras que la del CO es 1.14kg/m^3 por lo tanto este gas se elevará para estar por encima del aire, por lo que el medidor no deberá ubicarse a una baja altura. En cuanto al CO₂ su densidad es de 1.97kg/m^3 por lo que este gas tiende a descender por debajo del aire por lo que el medidor no deberá ubicarse a una altura muy alta para evitar mediciones erróneas. Por lo cual 1.20 está a la altura de la respiración humana y permitirá realizar las mediciones a una altura adecuada.

Para la toma de datos es importante colocar el dispositivo en una zona que cuente con las condiciones adecuadas para el correcto funcionamiento del prototipo, por lo tanto, los sitios elegidos serán aulas de clase, laboratorios y zonas exteriores. Para las aulas de clase y laboratorios se debe tomar que el prototipo no debe estar cerca de ninguna fuente de calor ni de ventilación cercana para evitar mediciones erróneas en el sistema.

Para ubicar el dispositivo se debe tomar en cuenta que debe alejarse de fuentes de calor y ventanas para evitar mediciones erróneas en temperatura y contaminantes.

En la figura 21 se muestra la ubicación del prototipo para realizar mediciones en un aula de clases a 1.20m del suelo.

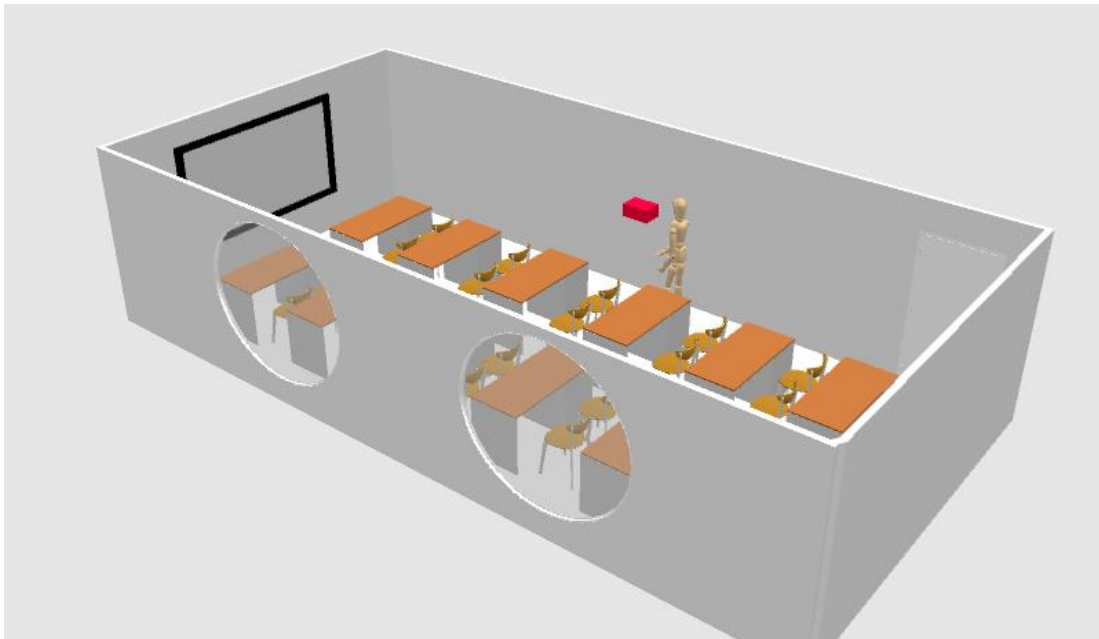


Figura 21. Ubicación del prototipo en un aula de clases
Elaborado por: El investigador.

En la figura 22 se muestra la ubicación del prototipo al nivel de una persona a nivel de la respiración normal.

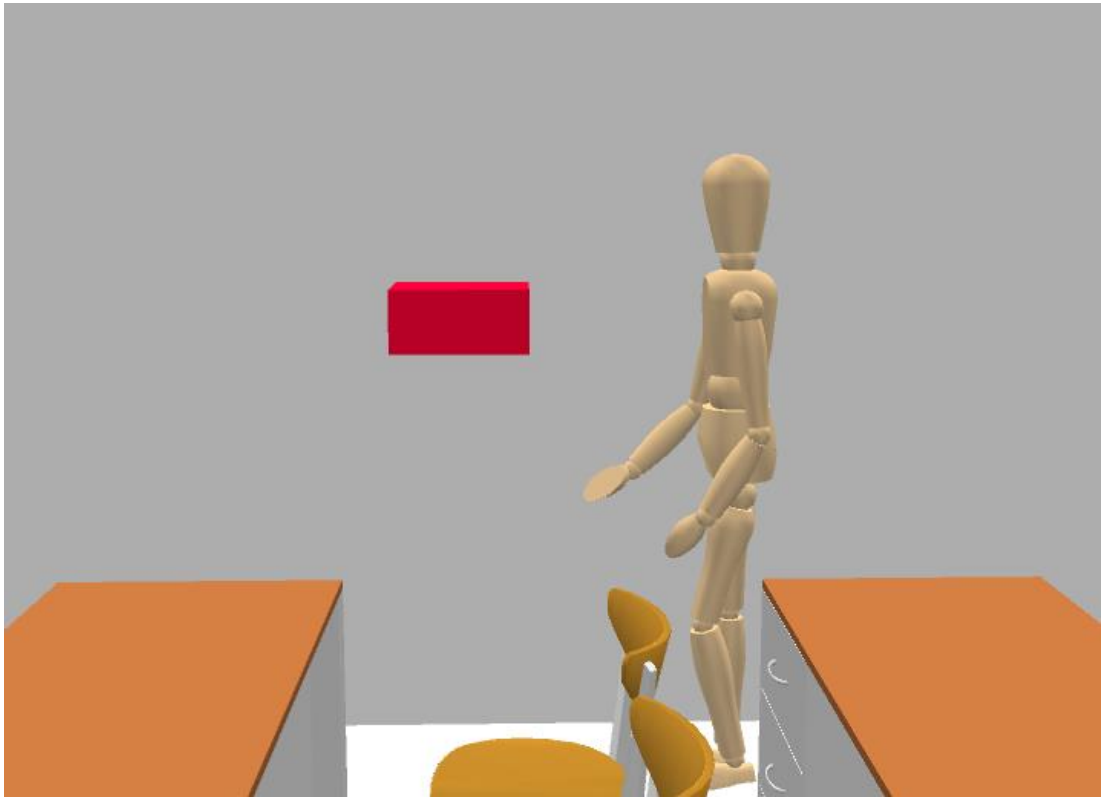


Figura 22. Nivel normal de respiración para ubicación del prototipo.
Elaborado por: el investigador

Para la toma de mediciones en los alrededores de la Universidad Técnica de Ambato, se tomaron en cuenta puntos como la parada de buses, salida principal y el estacionamiento de la casa universitaria, como se muestra en la figura 23.



Figura 23. Puntos de medición en el campus Huachi.
Elaborado por: el investigador

Diagrama de flujo del sistema de monitoreo de calidad del aire.

En la figura 23 se muestra el diagrama de flujo del sistema de monitorización de la calidad del aire.

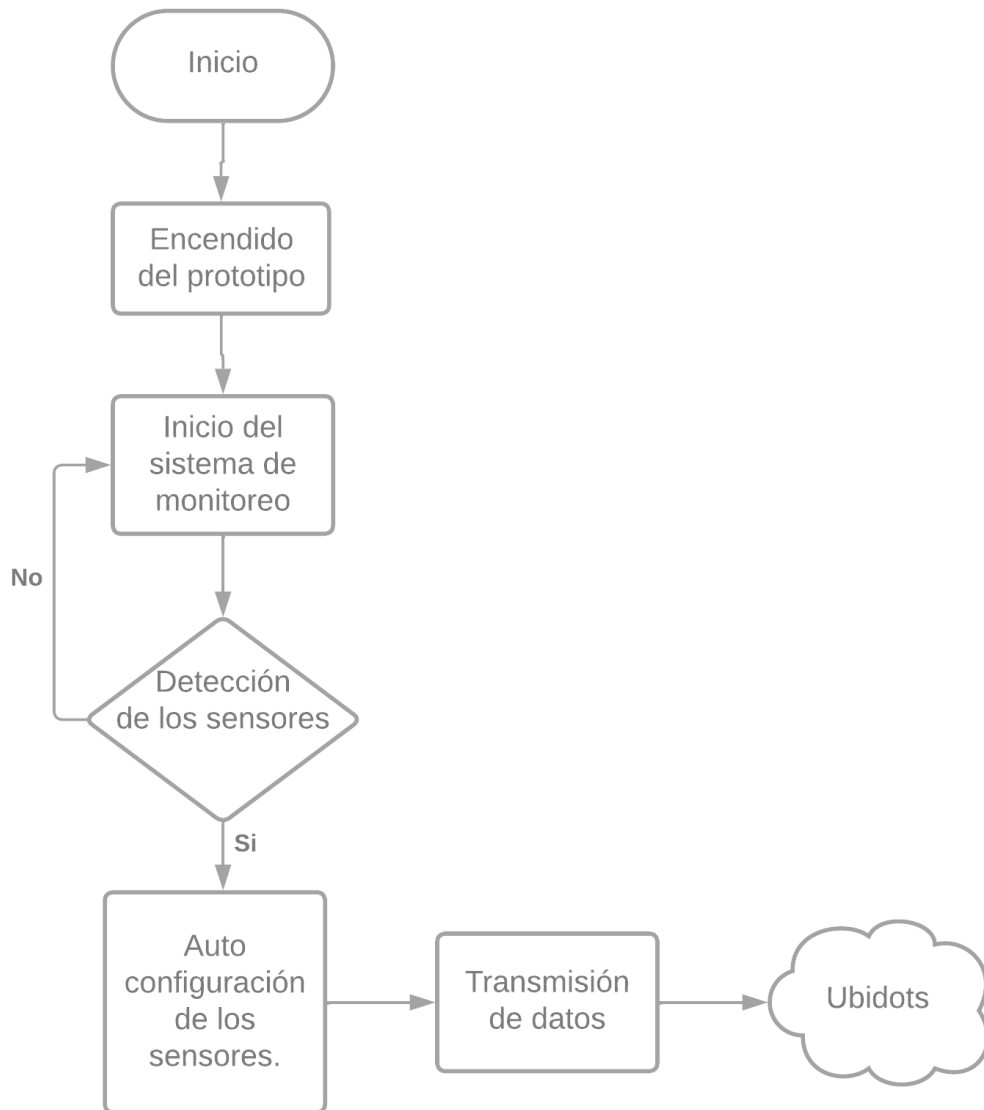


Figura 24. Diagrama de flujo del sistema de monitoreo
Elaborado por: El investigador

El sistema inicia cuando ambos sensores están conectados, sin ellos el sistema no iniciará dado que el sensor de CO2 no detecta el firmware que se está utilizando por lo que no pasará de la fase de detección, finalmente la transmisión y almacenamiento se realizará en la aplicación web de Ubidots.

Elaboración del contenedor del prototipo

Para el contenedor se buscó un material no metálico que permita mantener el sistema de monitoreo sin interferencias por alguna perturbación debido al contenedor. Para esto se optó por un material MDF dado que es liviano y no interfiere con la señal de WiFi. En la figura 22 se muestra el esquema de corte del contenedor del prototipo.

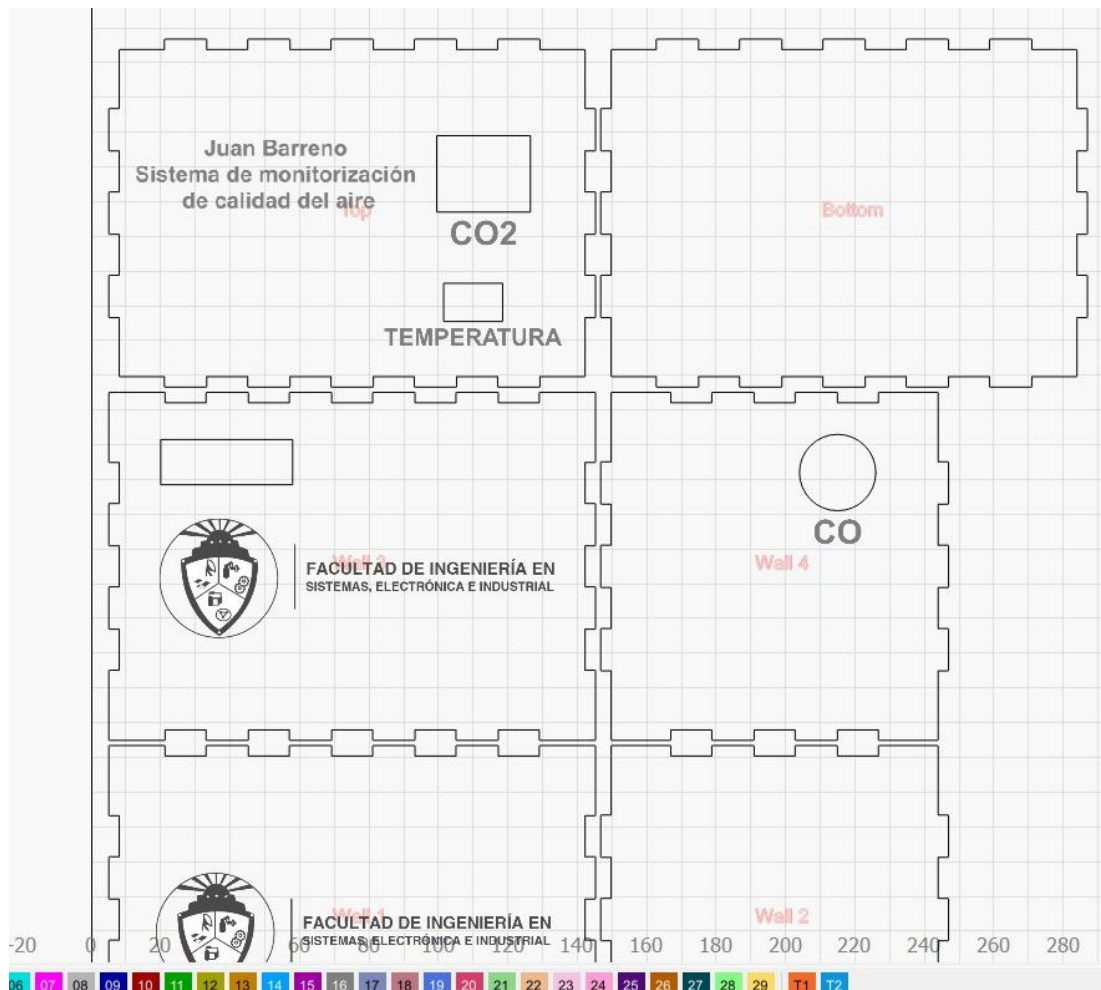


Figura 25. Esquema del prototipo

Elaborado por: El investigador

Los sensores deben estar en constante contacto con el aire como se muestra en la figura 26 por lo que estarán todo el tiempo expuestos, los componentes internos como el conmutador y las baterías se mantienen dentro del contenedor en todo momento. El prototipo no cuenta con una base de soporte elevada dado que se deberá colocar en

diversos lugares alrededor de la universidad y al contar con una estructura de soporte muy larga sería poco práctico para movilizarla.



Figura 26. Piezas del contenedor
Elaborado por: El investigador

En la figura 26 se muestra el posicionamiento de los sensores en el prototipo



Figura 27. Prototipo ensamblado
Elaborado por: El investigador

Dentro de la programación del prototipo al utilizar un bróker online la programación de Arduino enviará los datos a través de la librería de Ubidots, es importante la declaración de las variables que se enviarán a la plataforma, estas variables deben tener

el mismo nombre en la plataforma online como en la programación de Arduino, se muestra el ejemplo en la figura 27.

```
float h=dht.readHumidity();
float t=dht.readTemperature();
float value1 = analogRead(A0);
float value2 = mhz19b.readCO2();|
float value4 = h;
float value5 = t;
```

Figura 28. Declaración de variables para el envío a Ubidots.
Elaborado por: El investigador

Para el sensor de CO2 el MH-Z19B se necesita un tiempo de calibración de 3 minutos, por lo que en ese intervalo de tiempo se configura la versión de firmware que se utilizará y para la calibración del punto mínimo que el sensor medirá se utiliza la calibración en punto cero. Esta calibración consiste en que se tomará en consideración un intervalo de 24 horas en el que la cantidad de ppm de CO2 ha sido equivalente a 400ppm asumiendo que 400ppm es un valor aceptable dentro de las normativas estudiadas, este valor calibrará el sensor para que constantemente tome un valor como referencia y continúe realizando calibraciones periódicas. cuya programación se indica en la figura 27.

Los sensores que miden contaminantes ambientales por lo general necesitan un tiempo de calentamiento, esto se aplica para ambos sensores, el sensor MQ-9 de monóxido de carbono y el sensor MH-Z19B, el calentamiento de los sensores para la medición de contaminantes en el aire se realiza por diversas razones, entre ellas:

- Eliminación de la humedad: La humedad se elimina para evitar lecturas erróneas en los sensores y acortar su vida útil.
- Eliminación de contaminantes: Algunos sensores de contaminantes en el aire utilizan materiales sensibles que pueden ser afectados por la presencia de otros compuestos químicos. Al calentar el sensor, se eliminan o descomponen los contaminantes presentes, lo que permite una medición más precisa y confiable del aire.

- Estabilización de la temperatura: El calentamiento del sensor ayuda a estabilizar su temperatura interna. Esto es importante porque muchas reacciones químicas que se utilizan en los sensores dependen de una temperatura constante para brindar mediciones precisas. Al mantener una temperatura constante, se minimizan las variaciones y se obtienen resultados más consistentes.

Para el sensor MQ-9 se tiene que el tiempo de calentamiento del sensor para eliminar gases y contaminantes para evitar mediciones erróneas es de 2 minutos, por lo que el tiempo de calentamiento y preparación del prototipo asciende a 5 minutos.

3.2.8. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en diversos lugares en el interior y los alrededores de la Universidad Técnica de Ambato, se realizó en lugares con una cantidad considerable de personas y durante periodos prolongados de tiempo de exposición.

Para estas mediciones se tendrá en cuenta los criterios que se indican en la tabla 10 de acuerdo con cada una de las normativas de referencia:

Tabla 11. Criterios de medición

| Parámetro | Criterio Normal | Criterio Máximo | Normativa de referencia |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Humedad | 30-50% | >60% | ASHRAE 62.1 |
| Temperatura | 20-24°C | >25°C | ASHRAE 62.1 |
| Dióxido de Carbono (CO ₂) | Hasta 700 ppm | ≥800 ppm | ASHRAE 62.1 |
| Monóxido de Carbono (CO) | Hasta 300 ppm | >500 ppm | NIOSH |

Elaborado por: El investigador

Las mediciones para determinar la calidad del aire en diversos puntos de la Universidad Técnica de Ambato se realizaron durante varias horas por cada lugar en el que se realizaron, se muestran los promedios en las mediciones realizados en las aulas, laboratorios y exteriores de la Universidad Técnica de Ambato.

Las mediciones se realizarán en horas en las que se encuentra una mayor afluencia de estudiantes por lo tanto se indicarán los valores obtenidos de dichas mediciones.

Se muestra en la tabla 11 las mediciones realizadas en diferentes puntos de la Universidad Técnica de Ambato a lo largo de varios días y a diferentes horas.

Tabla 12. Mediciones realizadas en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi

| Fecha | Lugar | Cant. Personas | Horas | Variable | Promedio | Unidad |
|-----------|--|----------------|-------------|---------------------------------------|----------|--------|
| 23/6/2023 | Aula H02 FISEI | 30 | 8:51-12:57 | Monóxido de Carbono (CO) | 109,90 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 748,60 | ppm |
| | | | | Humedad | 65,33 | % |
| | | | | Temperatura | 21,78 | °C |
| 23/6/2023 | Ágora de la FISEI | 60 | 10:14-12:57 | Monóxido de Carbono (CO) | 97,49 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 457,73 | ppm |
| | | | | Humedad | 65,24 | % |
| | | | | Temperatura | 20,23 | °C |
| 27/6/2023 | Biblioteca General de la Universidad Técnica de Ambato | 90 | 10:18-12:20 | Monóxido de Carbono (CO) | 159,41 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 875,70 | ppm |
| | | | | Humedad | 62,57 | % |
| | | | | Temperatura | 22,08 | °C |
| 27/6/2023 | Salida Principal de la Universidad Técnica de Ambato | 70 | 12:40-14:31 | Monóxido de Carbono (CO) | 102,65 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 463,96 | ppm |
| | | | | Humedad | 59,78 | % |
| | | | | Temperatura | 20,17 | °C |
| 30/6/2023 | Aula F02 FISEI | 20 | 10:21-12:46 | Monóxido de Carbono (CO) | 93,0 | ppm |

| | | | | | | |
|----------|--|----|-------------|---------------------------------------|--------|-----|
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 601,87 | ppm |
| | | | | Humedad | 58,43 | % |
| | | | | Temperatura | 22,60 | °C |
| 4/7/2023 | Pasillos edificio 2 FISEI primer piso | 50 | 7:23-8:41 | Monóxido de Carbono (CO) | 87,8 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 509,26 | ppm |
| | | | | Humedad | 55,75 | % |
| | | | | Temperatura | 20,63 | °C |
| 5/7/2023 | Estacionamiento Casa Universitaria Campus Huachi segundo nivel | 6 | 12:59-13:41 | Monóxido de Carbono (CO) | 92,7 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 686,18 | ppm |
| | | | | Humedad | 58,16 | % |
| | | | | Temperatura | 21,74 | °C |
| 5/7/2023 | Laboratorio Industrial II de la FISEI | 22 | 15:14-16:33 | Monóxido de Carbono (CO) | 88,3 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 484,41 | ppm |
| | | | | Humedad | 54,11 | % |
| | | | | Temperatura | 21,98 | °C |
| 6/7/2023 | Aula G03 edificio 2 de la FISEI | 32 | 14:18-16:48 | Monóxido de Carbono (CO) | 89,1 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 536,63 | ppm |
| | | | | Humedad | 59,92 | % |
| | | | | Temperatura | 21,67 | °C |
| 7/7/2023 | Pasillos edificio 2 FISEI segundo piso | 40 | 8:34-12:34 | Monóxido de Carbono (CO) | 92,1 | ppm |
| | | | | Dióxido de | 457,01 | ppm |

| | | | | | | |
|----------|---|-----|-------------|---------------------------------------|--------|-----|
| | | | | Carbono (CO ₂) | | |
| | | | | Humedad | 62,53 | % |
| | | | | Temperatura | 21,25 | °C |
| 8/7/2023 | Parada de buses Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi | 120 | 15:00-18:15 | Monóxido de Carbono (CO) | 141,8 | ppm |
| | | | | Dióxido de Carbono (CO ₂) | 590,22 | ppm |
| | | | | Humedad | 61,17 | % |
| | | | | Temperatura | 19,10 | °C |

Elaborado por: el investigador

En base a estas mediciones se presenta el promedio individual en cada zona en la que se realizaron mediciones.

Monóxido de Carbono (CO).

En la figura 29 se muestra el promedio obtenido de las mediciones realizadas de monóxido de Carbono en los diferentes puntos de la Universidad Técnica campus Huachi, el tiempo de medición individual se indica en la tabla 11.

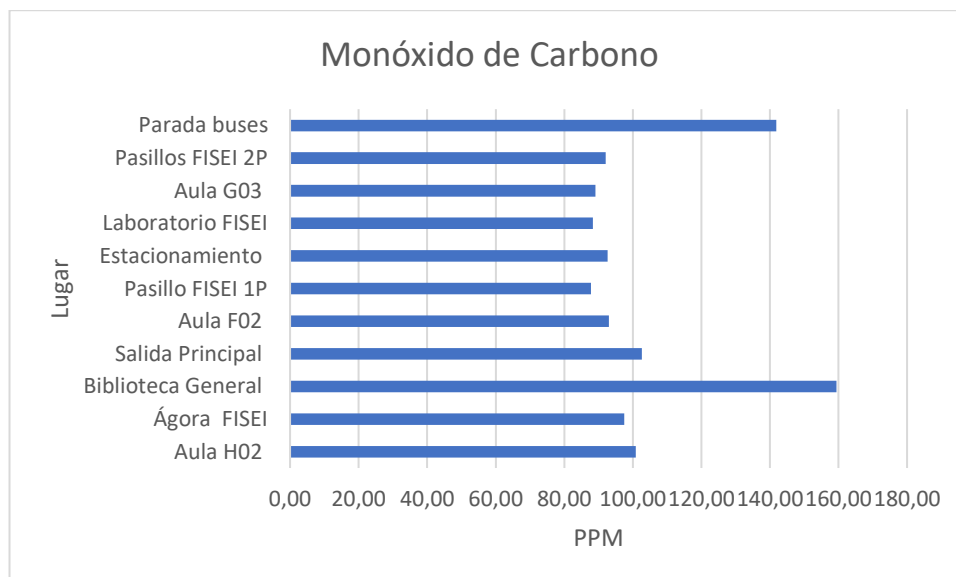


Figura 29. Promedio monóxido de Carbono UTA

Elaborado por: el investigador

Con los valores obtenidos se puede determinar que de acuerdo con la tabla 10, los valores de monóxido de Carbono en los puntos seleccionados para medir la calidad del aire no exceden los valores peligrosos siendo el promedio máximo de 160 ppm obtenido en la Biblioteca General que en el momento de la prueba se encontraba una gran cantidad de personas en su interior.

Dióxido de Carbono (CO2).

Los promedios de las mediciones de CO2 se muestran en la figura 30.

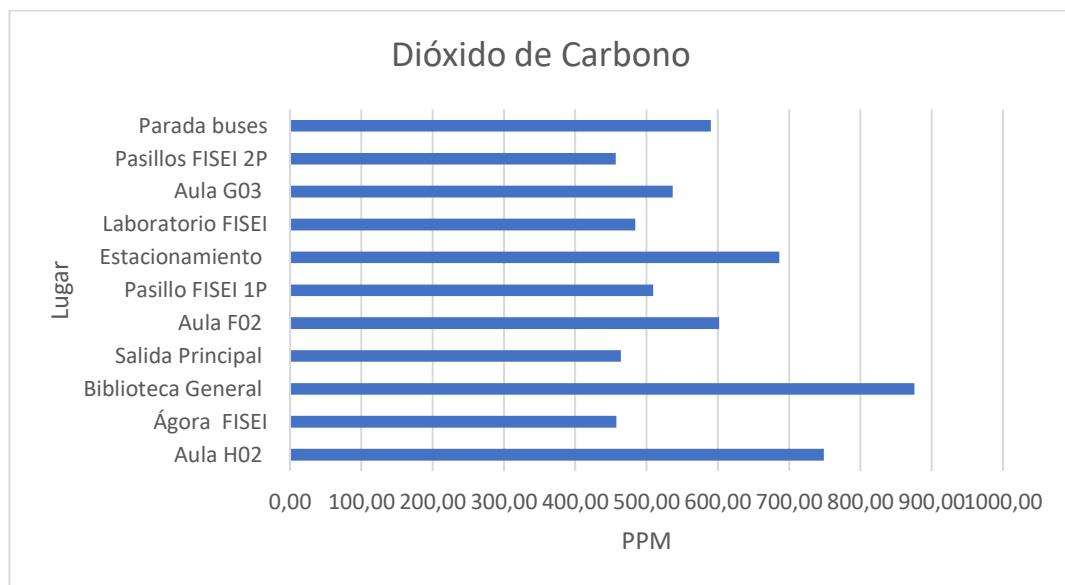


Figura 30. Promedio mediciones CO2 UTA

Elaborado por: el investigador

La medición de CO2 en el campus Huachi indica que el nivel de dióxido de carbono no excedió lo propuesto por la normativa en la tabla 10, por lo que se considera una buena calidad del aire en cuanto a CO2, pero no se debe pasar por alto que la cantidad de partículas acumuladas en sitios con poca ventilación como la Biblioteca General indican una proximidad considerable a un nivel problemático como las 1000ppm.

Humedad y Temperatura.

La humedad y temperatura medidos en el campus muestra una humedad poco variable, pero por encima de valores que se consideran molestos para los ocupantes de laboratorios y aulas como se muestra en la figura 31.

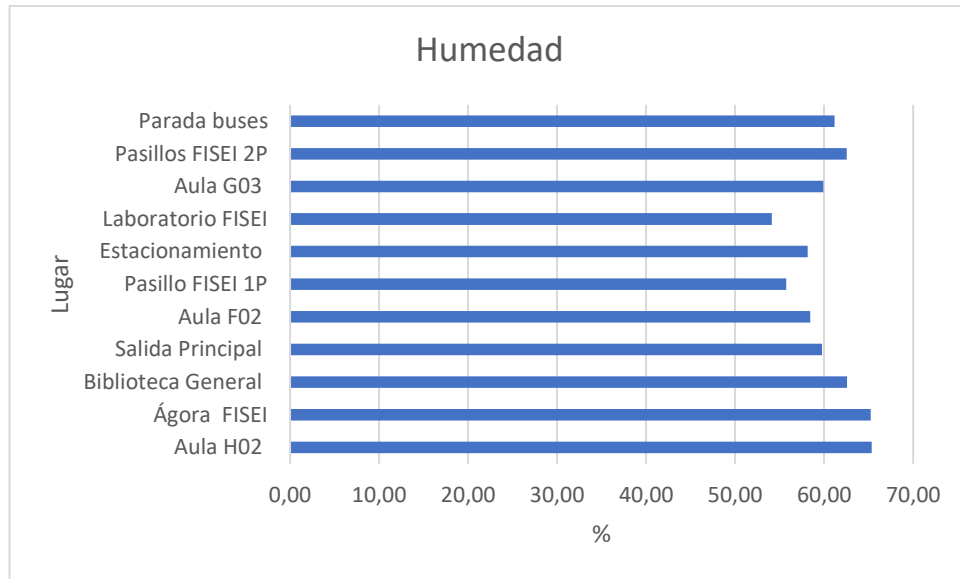


Figura 31. Mediciones Humedad UTA

Elaborado por: El investigador

De acuerdo con la tabla 10 el límite aceptable máximo de humedad se mantiene en 60% en las mediciones se mantuvo por debajo de los 5% de incremento de humedad medida, por lo que no implicó un problema para las personas en los lugares que se llevaron a cabo las pruebas.

La temperatura medida en el campus Huachi se muestra en la figura 32. El promedio de mediciones es:

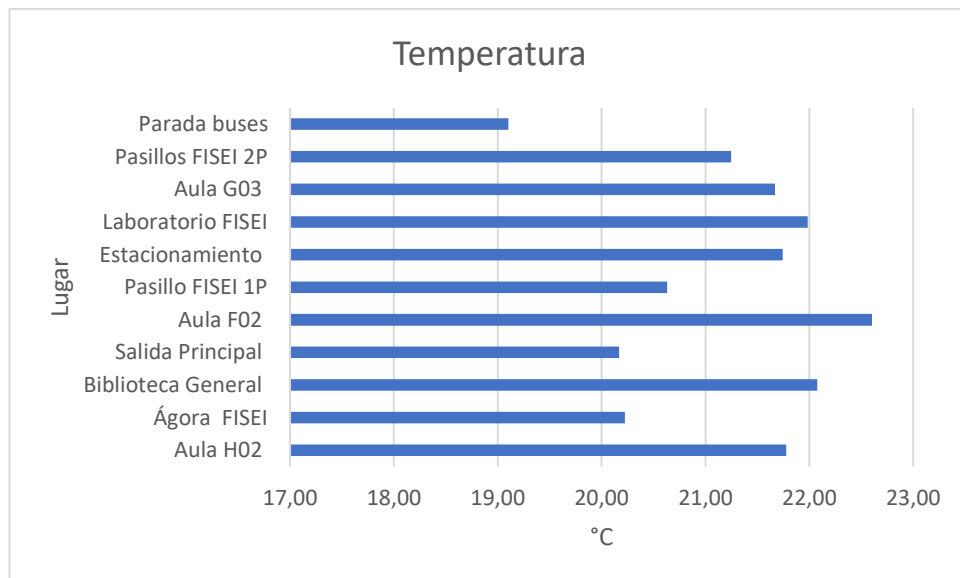


Figura 32. Promedio mediciones temperatura

Elaborado por: el investigador

Las mediciones de temperatura indican que en ninguna medición el promedio sobrepasó el valor máximo aceptable de 25°C por lo que la temperatura no influyó en causar problemas a las personas que se encontraban en los lugares en los que se llevaron a cabo las pruebas.

En las mediciones realizadas para la determinación de la calidad del aire en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi se tomará en cuenta si los valores promedio exceden o no los valores propuestos en la tabla 10 que indicaban los valores permitidos por la normativa, se muestran en la tabla 12.

Tabla 13. Cumplimiento con la normativa

| Fecha | Monóxido de Carbono (CO) | Dióxido de Carbono (CO2) | Humedad | Temperatura |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------|
| 23/6/2023 | No excede | No excede | No excede | No excede |
| 27/6/2023 | No excede | No excede | No excede | No excede |
| 30/6/2023 | No excede | No excede | No excede | No excede |
| 4/7/2023 | No excede | No excede | No excede | No excede |
| 5/7/2023 | No excede | No excede | No excede | No excede |
| 6/7/2023 | No excede | No excede | No excede | No excede |
| 7/7/2023 | No excede | No excede | No excede | No excede |
| 8/7/2023 | No excede | No excede | No excede | No excede |

Elaborado por: el investigador

Al analizar los resultados de las mediciones realizadas en diferentes puntos del campus Huachi, se determinó que si bien muy pocos contaminantes exceden los valores considerados como adecuados según la tabla 10 que indica la normativa para la calidad del aire no se debe dejar de lado las mediciones de contaminantes próximos a los límites peligrosos CO2 y Humedad, ambos contaminantes que en ambientes con poca o nula ventilación tienden a incrementar su presencia en el sitio, y en exposiciones largas producir problemas a los ocupantes de los lugares donde se realizan las pruebas. La mala ventilación conllevó a la concentración de CO2 en sitios cerrados como la Biblioteca General y Aulas de clase en las que si bien existe aire acondicionado no se utiliza con frecuencia, y en algunos casos las ventanas permanecen cerradas durante todo el tiempo de clase.

3.2.9. Presupuesto

Para el cálculo del presupuesto se toma en cuenta el costo del diseño e implementación del prototipo, esto basándose en el salario de un Ingeniero en Telecomunicaciones propuesto por el Ministerio del Trabajo que propone un sueldo de 700\$ mensuales.

$$Rd = \frac{Rm}{DL} = \frac{700}{21} = 33.33\$$$

Rd => Remuneración diaria

Rm => Remuneración mensual

DL => Días laborables

Se calcula la remuneración por hora, considerando 8h al día.

$$Rh = \frac{Rd}{HL} = \frac{33.33}{8} = 4.16\$$$

Rh => Remuneración por hora

HL => Horas Laborables

Para el diseño del prototipo se toma en cuenta la realización del algoritmo de funcionamiento, pruebas y corrección de errores, se estima un total de 85 horas de trabajo, para lo cual se calcula el costo de diseño.

$$CostoD = Rh * Horas empleadas$$

$$CostoD = 4.16\$ * 85$$

$$CostoD = 353.60 \$$$

La implementación del prototipo se llevó a cabo en un total de 210 horas, para conocer el costo de implementación se utilizará la remuneración por hora y la cantidad de horas empleadas en la implementación.

$$CostoI = Rh * Horas empleadas$$

$$CostoI = 4.16\$ * 210$$

$$CostoI = 873.6\$$$

El costo de materiales para el prototipo se indica en la tabla 23

Tabla 14. Presupuesto de construcción del prototipo

| Item | Descripción | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor total |
|------|-----------------------------------|--------|----------|----------------|---------------|
| 1 | ESP8266 | c/u | 1 | 12 | 12 |
| 2 | Sensor CO2 MHZ19B | c/u | 2 | 50 | 100 |
| 3 | Sensor MQ-9 | c/u | 1 | 7 | 7 |
| 4 | Sensor DHT22 | c/u | 1 | 8 | 8 |
| 5 | Conmutador de baterías automático | c/u | 2 | 7 | 14 |
| 6 | Baterías | c/u | 2 | 7,5 | 15 |
| 7 | Cargador baterías LIPO | c/u | 1 | 2,5 | 2,5 |
| 8 | Módulo LM2596 Step Down | c/u | 2 | 1,5 | 3 |
| 9 | Pantalla OLED 0.96' | c/u | 1 | 7 | 7 |
| 10 | Fuente de alimentación 9V | c/u | 1 | 5 | 5 |
| 11 | Placa PCB | c/u | 1 | 12 | 12 |
| 12 | Contenedor | c/u | 1 | 16 | 16 |
| 13 | Transporte urbano | c/u | 50 | 0,3 | 15 |
| 14 | Costo de diseño | c/u | 1 | 353,6 | 353,6 |
| 15 | Costo implementación | c/u | 1 | 873,6 | 873,6 |
| 16 | Otros | c/u | 1 | 25 | 25 |
| | | | | Total | 1468,7 |

Elaborado por: el investigador

Todos los gastos de implementación del dispositivo fueron cubiertos por el investigador.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- A pesar de que la mayoría de laboratorios y aulas de clase en los que se realizaron las mediciones contaban con ventilación o eran sitios abiertos en los que la cantidad de contaminantes que podrían afectar a la calidad del aire no se acumulaban, se evidenció que a nivel de las aulas la falta de ventilación en algunos casos puede llevar a considerables concentraciones de contaminantes CO y CO₂ tuvieron incrementos de alrededor de 50ppm y 400ppm respectivamente cuando la ventilación de las aulas y laboratorios no era adecuada.
- La aplicación Ubidots para el monitoreo constante de las variables ambientales permite la visualización desde cualquier punto que cuente con acceso a internet y con cualquier dispositivo móvil, ayudando al monitoreo de calidad ambiental constante del prototipo, si bien las mediciones no indicaron niveles peligrosos según se indicó bajo normativa de calidad del aire se encontró evidencia de mala ventilación en aulas y laboratorios en los que se realizaron las pruebas con el prototipo.
- Los sitios en los que la calidad del aire se puede ver comprometida según las mediciones son las aulas o laboratorios en los que no se enciende el aire acondicionado o no se mantienen las ventanas abiertas, en algunas aulas de clase en las que las ventanas no se pueden abrir totalmente siendo el caso del aula H02 en la que la cantidad de contaminantes humedad y temperatura se acumulan por la falta de ventilación.

4.2. Recomendaciones

- La ventilación en las aulas es primordial, si bien las mediciones realizadas no indican peligro, puede resultar en molestias para las personas que se encuentran en su interior por lo que la ventilación en algunas aulas del edificio 2 de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial debería mejorarse, en cuanto a las zonas abiertas y exteriores de la Universidad Técnica de Ambato se recomienda una medición periódica y en horas en las que se podría considerar que los contaminantes pudieran aumentar o considerarse como un problema.
- Para el cambio auxiliar a batería, se debe utilizar una fuente y una batería que trabajen con el mismo voltaje, tanto para la batería como para la entrada de la fuente de alimentación, si bien el funcionamiento no se ve afectado puede provocar una sobrecarga en las baterías y terminar dañando el sistema auxiliar de alimentación.
- Para las mediciones se debe comprobar que los sensores hayan pasado la etapa de calentamiento y preconfiguración porque los sensores requieren un tiempo de calentamiento para mejorar la precisión de las mediciones, de ahí que el prototipo necesite 5 minutos para volver a realizar mediciones cuando existe un corte de energía, por lo que se recomienda encontrar un método alternativo de alimentación auxiliar para el prototipo, en caso de que no se quiera perder datos cuando se pierda alimentación.
- Se debe encender el aire acondicionado cuando la cantidad de estudiantes en las aulas o laboratorios sea alta, si bien existen ventanas en muchos de los laboratorios y aulas en los que se realizaron pruebas al no estar encendido el aire acondicionado con frecuencia no existe un flujo de aire constante lo que ocasiona que dentro del sitio se acumulen los contaminantes del aire.
- La medición de CO₂ utilizando un sensor infrarrojo permitió que las mediciones no tengan la necesidad de ser en ambientes exteriores o interiores únicamente, gracias al mecanismo infrarrojo de medición se considera que son más precisos que los medidores convencionales que solo detectan la cantidad de gases mediante medios electroquímicos, esto ayuda a evitar interferencias porque no se ve afectado por diferentes gases que se encuentran en el aire, la elección del sensor infrarrojo implica también que la medición puede ser casi en tiempo real, siendo una ventaja para las mediciones de calidad del aire.

Bibliografía

- [1] “El dióxido de carbono y la calidad de aire”. <https://www.tfm.pe/noticias/mantener-el-balance-el-dioxido-de-carbono-y-la-calidad-de-aire> (accedido 18 de abril de 2023).
- [2] E. Y. Telecomunicaciones Diego Raúl Ortega Segura, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂), MONÓXIDO DE CARBONO (CO) Y METANO (CH₄) EN LUGARES RESIDENCIALES UTILIZANDO EL SISTEMA OPERATIVO ANDROID Y ARDUINO PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17554>
- [3] C. E. Katherine Lizeth y S. G. Daniela Fernanda, “ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE LA TECNOLOGÍA EDUCATIVA SANTO TOMÁS APÓSTOL RIOBAMBA”, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZ, Riobamba, 2019. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11026>
- [4] M. I. Asadobay Sinaluisa y A. E. Paca Aucancela, “Propuesta de un prototipo de nodos inteligentes integrables a una red inalámbrica para supervisión en línea de contaminantes del aire.”, 2019, Accedido: 16 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10963>
- [5] J. G. Puma Pinargote y H. R. Alfonso Ramírez, “Diseño e implementación de un prototipo de medición de emisión de gases contaminantes en el laboratorio de automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil”, 2021, Accedido: 16 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20673>
- [6] J. Fernando, M. Ayala, I. Barriga Andrade, y J. Javier, “Diseño e Implementación de Sensores de Medición de Contaminación del Aire Basado en una Red LoRaWAN en la Escuela Politécnica Nacional”, feb. 2021,

Accedido: 16 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21403>

- [7] O. F. Tene Salazar, “Contaminantes químicos del aire interior y su incidencia en la afectación de la salud de los trabajadores de los laboratorios de instituciones de educación superior”, 2018, Accedido: 16 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/29118>
- [8] E. Roberts, *Manual de Control de Calidad del aire*, vol. 1. Mexico: McGrawHill, 2001.
- [9] E. Sánchez-Salinas, M. Laura Ortiz Hernández, M. Luisa, y C. Godínez, “CONTAMINACIÓN URBANA DEL AIRE Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS”.
- [10] “Contaminación del aire: causas y tipos - Fundación Aequae”. <https://www.fundacionaqua.org/wiki/causas-y-tipos-de-la-contaminacion-del-aire/> (accedido 18 de abril de 2023).
- [11] “2 CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS”, Accedido: 18 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter2.pdf>
- [12] “La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud”. <https://www.who.int/es/news/item/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact> (accedido 18 de abril de 2023).
- [13] “ToxFAQs™: Monóxido de Carbono (Carbon Monoxide) | ToxFAQ | ATSDR”. https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts201.html (accedido 18 de abril de 2023).

- [14] “Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire”.
<http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php/norma-ecuatoriana-de-la-calidad-del-aire> (accedido 18 de abril de 2023).
- [15] “OSHA / Pruebas de aire respirable en la industria general”.
<https://www.airchecklab.com/es/servicios-2/respirando-aire/osha-industria-general/> (accedido 18 de abril de 2023).
- [16] “Resumen de derecho ambiental en los Estados Unidos”.
<https://moose.cec.org/moose/lawdatabase/us08.cfm?varlan=espanol> (accedido 18 de abril de 2023).
- [17] “ASHRAE actualiza el estándar 62.1 y 62.2 | ACR Latinoamérica”.
<https://www.acrlatinoamerica.com/2022092018497/noticias/empresas/ashrae-actualiza-el-estandar-62-1-y-62-2.html> (accedido 18 de abril de 2023).
- [18] “Requisitos de calidad del aire interior, regulaciones de humos de soldadura de OSHA”. <https://robovent.com/es/regulaciones/> (accedido 18 de abril de 2023).
- [19] J. Salazar, “REDES INALÁMBRICA”.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
(accedido 18 de abril de 2023).
- [20] “【 Red WMAN 】 ¿Qué es y Para Qué Sirve? Ejemplos ▷ 2023”.
<https://internetpasoapaso.com/red-wman/> (accedido 18 de abril de 2023).
- [21] “【 Red WWAN 】 ¿Qué es y Para Qué Sirve? Ejemplos ▷ 2023”.
<https://internetpasoapaso.com/red-wwan/> (accedido 18 de abril de 2023).
- [22] “Qué es el WiFi, cómo funciona y qué tipos de cifrado existen”.
<https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>
(accedido 18 de abril de 2023).
- [23] “Arquitectura de red”.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
(accedido 18 de abril de 2023).
- [24] “¿Qué es IoT? - Explicación del Internet de las cosas - AWS”.
<https://aws.amazon.com/es/what-is/iot/> (accedido 18 de abril de 2023).

- [25] “IOT | candcwireless”. <https://www.candcwireless.com/iot> (accedido 18 de abril de 2023).
- [26] J. Salazar y S. Silvestre, *INTERNET DE LAS COSAS*. Accedido: 18 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08_R_ES.pdf
- [27] “Protocolos y tecnologías de IoT | Microsoft Azure”. <https://azure.microsoft.com/es-es/solutions/iot/iot-technology-protocols> (accedido 20 de agosto de 2023).
- [28] “Ciencia Ciudadana/Sensores de Calidad del Aire - Air Central Texas - Spanish”. <https://aircentraltexas.org/es/calidad-del-aire/la-semana-de-la-calidad-del-aire/ciencia-ciudadana-sensores-de-calidad-del-aire> (accedido 22 de abril de 2023).
- [29] “Glosario de Gartner”. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/iot-integration#:~:text=IoT%20integration%20means%20making%20the,to%20De nd%20IoT%20business%20solutions.> (accedido 22 de abril de 2023).
- [30] “Sensores de calidad del aire - Parámetros, niveles y características”. <https://solectroshop.com/es/blog/sensores-de-calidad-del-aire-parametros-niveles-y-caracteristicas-n79#sensores> (accedido 22 de abril de 2023).
- [31] R. Generales y D. Capítulo, “CALIDAD DEL AIRE INTERIOR”.
- [32] “Calidad del aire ambiente (exterior) y salud”. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (accedido 22 de abril de 2023).
- [33] “Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud”. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes> (accedido 22 de abril de 2023).

- [34] “circuit analysis - Current drawn by MQ9 Sensor - Electrical Engineering Stack Exchange”. <https://electronics.stackexchange.com/questions/539958/current-drawn-by-mq9-sensor> (accedido 6 de julio de 2023).
- [35] “Leading gas sensing solutions supplier in China! Intelligent Infrared CO2 Module (Model: MH-Z19B) User’s Manual”, Accedido: 6 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: www.winsen-sensor.com
- [36] T. Liu, “Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302) Capacitive-type humidity and temperature module/sensor”. [En línea]. Disponible en: <http://www.Datasheet4U.com>
- [37] “(PDF) PT100 Datasheet - Platinum Resistance Temperature Detector”. <http://www.datasheet.es/PDF/610955/PT100-pdf.html> (accedido 26 de julio de 2023).
- [38] “LM317 DC-DC CONVERTER STEP-DOWN CIRCUIT Description”.
- [39] “LM7805 pdf, LM7805 Description, LM7805 Datasheet, LM7805 view :: ALLDATASHEET ”: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/82833/FAIRCHILD/LM7805.html> (accedido 26 de julio de 2023).
- [40] “LM2596 SIMPLE SWITCHER ® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator”, 2023, Accedido: 26 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: www.ti.com
- [41] “MQTT vs CoAP, the battle to become the best IoT protocol”. <https://www.pickdata.net/es/noticias/mqtt-vs-coap-mejor-protocolo-iot> (accedido 27 de agosto de 2023).
- [42] “MQTT vs HTTP: ¿qué protocolo es mejor para IoT? – BorrowBits”. <https://borrowbits.com/2020/04/mqtt-vs-http-que-protocolo-es-mejor-para-iot/> (accedido 27 de agosto de 2023).
- [43] “LM2596S DC-DC Power Supply Step Down Module - Wiki”. http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=LM2596S_DC-DC_Power_Supply_Step_Down_Module (accedido 6 de julio de 2023).
- [44] “Amazon.com: Módulo de conmutación de batería de copia de seguridad de CC, 5 V ~ 48 V 10 A adaptador de interruptor automático, módulo de controlador de energía de emergencia : Electrónica”. <https://www.amazon.com/-/es/conmutaci%C3%B3n-interruptor-autom%C3%A1tico-controlador-emergencia/dp/B07B48CW3Y> (accedido 6 de julio de 2023).

ANEXOS

Anexo 1: Mediciones 23/07/2023

Mediciones 23 de junio del 2023 (Aula de clases H02)

Monóxido de carbono

La primera prueba realizada en un aula de clases H02 el 23 de junio del 2023 primero se muestran los valores de monóxido de carbono, se muestra en la figura 33, esta prueba se realizó en un aula con 30 personas, con ventilación todo el tiempo, sin embargo, las partículas siguieron aumentando hasta llegar a las 113 ppm sin llegar a una cantidad peligrosa por encima de las 500ppm durante las mediciones.

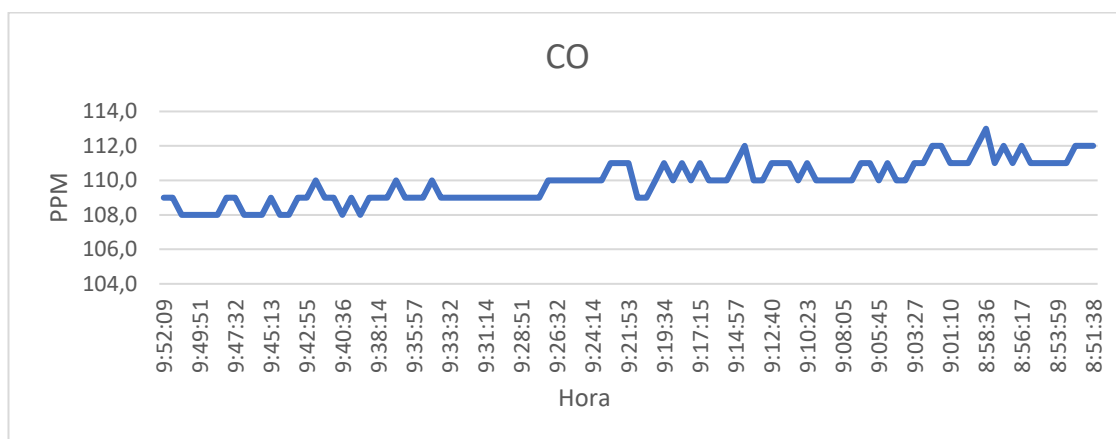


Figura 33. Mediciones CO 23/06/23 aula H02 FISEI
Elaborado por: El investigador

Se obtiene un promedio de 109.9 ppm durante el período de medición, indicando que no existió una cantidad preocupante de monóxido de carbono durante la prueba.

Dióxido de carbono

Durante la prueba que se llevó a cabo durante aproximadamente 1h y 30 minutos, la cantidad de monóxido aumentó hasta aproximadamente las 800ppm a pesar de la ventilación del sitio en el que se alojaba el prototipo, se muestra en la figura 34.

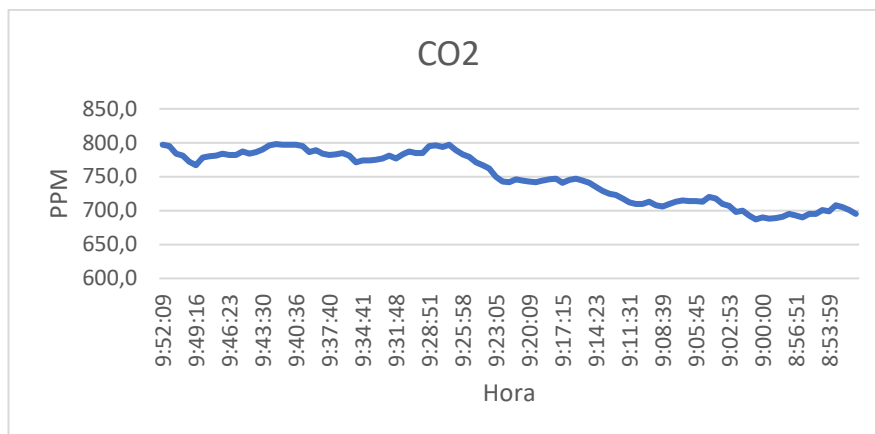


Figura 34. Mediciones CO2 23/06/23 aula H02 FISEI
Elaborado por: El investigador

Con un promedio de 746.5 ppm de CO2 no implica un riesgo alto para las personas, pero teniendo en cuenta que a partir de 1000 ppm se puede considerar una cantidad que a una exposición a largo plazo de varias horas puede resultar molesta para las personas que estén en ese sitio.

Temperatura y humedad

En las mediciones de temperatura y humedad al estar concentradas en zonas cerradas la humedad disminuyó hasta un 65.70% en el ambiente, sin embargo, no llegó a niveles que se pudieran considerar peligrosos como lo indica la tabla 10, su medición se indica en la figura 35.

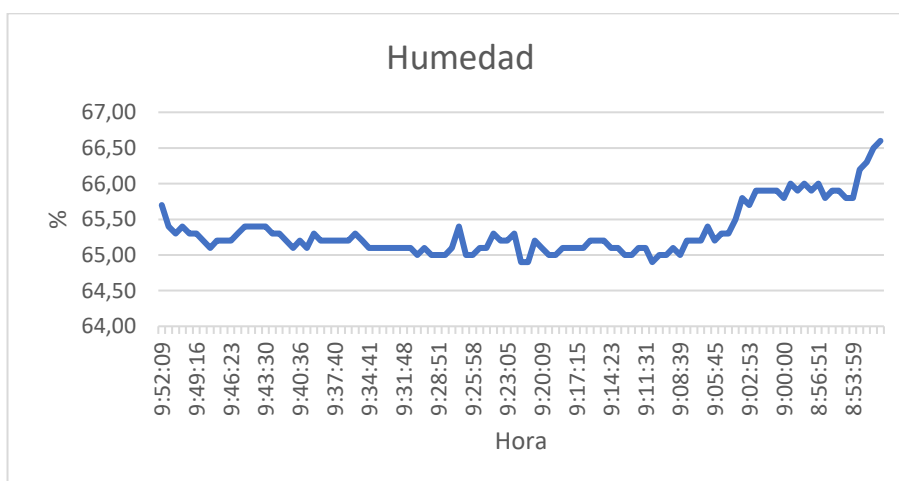


Figura 35. Mediciones humedad 23/06/23 aula H02 FISEI
Elaborado por: El investigador

En cuanto a la temperatura a pesar de que existía una fuente de ventilación en el curso la temperatura aumentó constantemente en aproximadamente 1°C como se muestra en la figura 36, sin llegar al nivel peligroso como se mostró en la tabla 10.

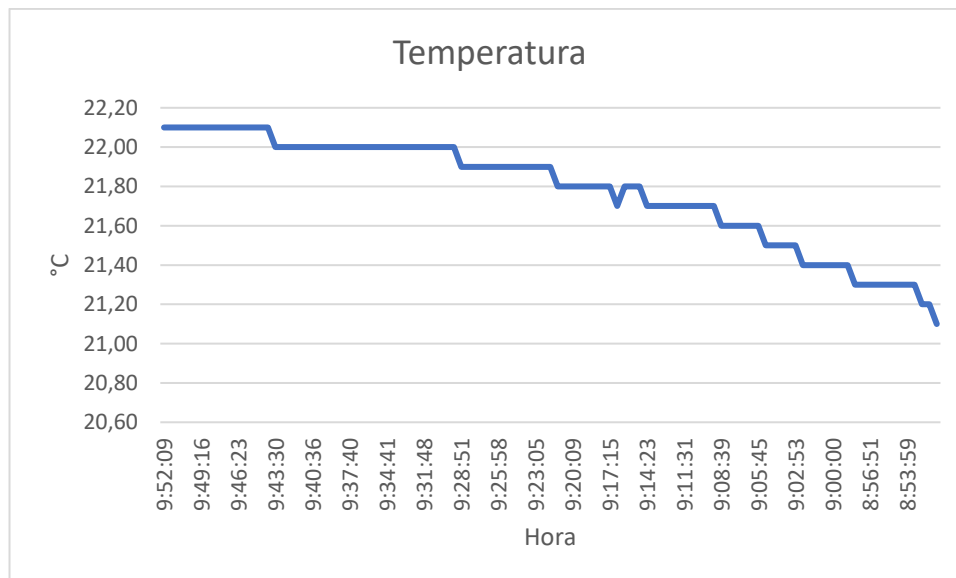


Figura 36. Mediciones Temperatura 23/06/23 aula H02 FISEI
Elaborado por: El investigador

Para el día 23 de junio se obtuvieron los siguientes valores promedio en las variables medidas:

Tabla 15. Promedio mediciones 23/06/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 109,9 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 748,6 | ppm |
| Temperatura | 65,33 | °C |
| Humedad | 21,78 | % |

Elaborado por: el investigador.

Los valores promedio indican que no existió una cantidad peligrosa de contaminantes en el aula en la que se realizó la prueba de contaminantes de calidad del aire, se encuentra una cantidad por encima de lo normal con 746ppm de CO2 puesto que en el aula no existe una buena ventilación.

Mediciones 23 de junio de 2023 (Ágora de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial)

Monóxido de Carbono

El ágora de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial que cuenta con 120m² y es un espacio amplio la cantidad de monóxido se mantuvo en un nivel cercano a las 100ppm durante todo el tiempo de medición que para la segunda prueba se extendió durante aproximadamente 2h, para el monóxido se muestran las mediciones en la figura 37.

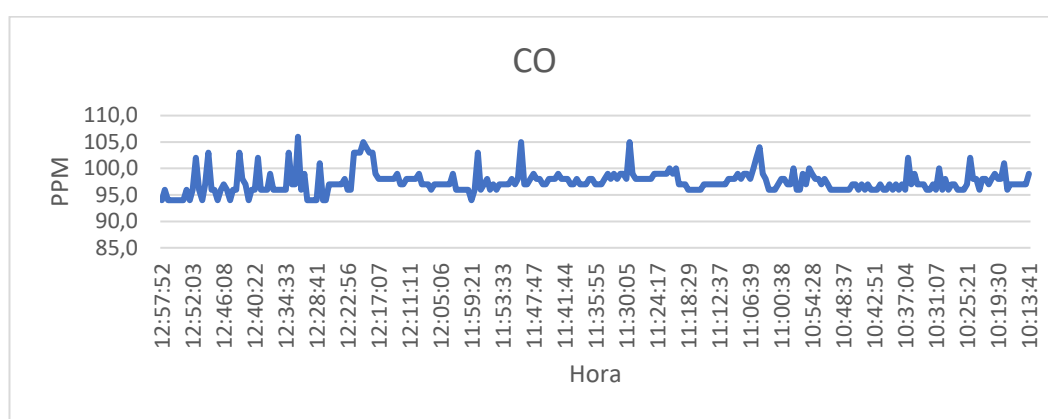


Figura 37. Mediciones CO 23/06/23 Ágora FISEI
Elaborado por: El investigador

Los niveles se mantuvieron por debajo de un nivel peligroso, en ocasiones por encima de las 100 ppm, durante todo el tiempo que se realizaron las mediciones de monóxido de carbono se obtuvo un promedio de 97.5 ppm.

Dióxido de Carbono.

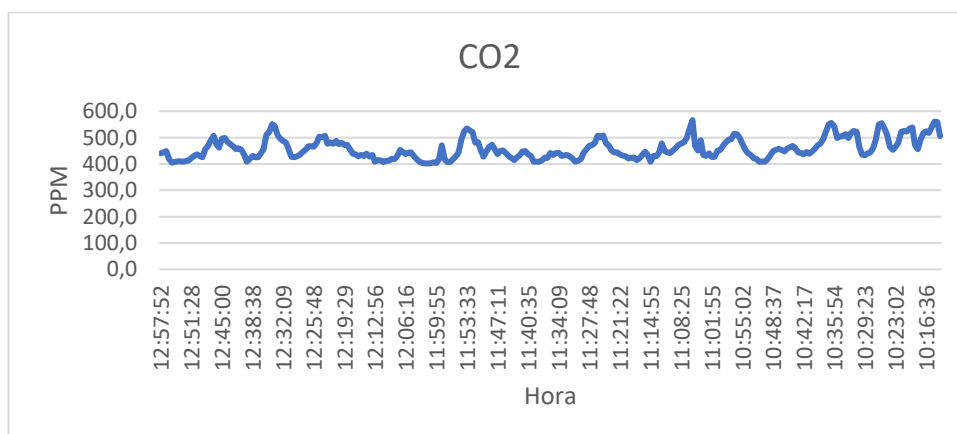


Figura 38. Mediciones CO₂ 23/06/23 Ágora FISEI
Elaborado por: El investigador

La cantidad de partículas por millón tuvo su punto máximo en 566 ppm el momento en el que varias personas se encontraban en el ágora de la FISEI, (aprox. 60 personas) lo cual no implica un riesgo para las personas que se encontraban en el lugar, con un promedio de 457 ppm, se muestra en la figura 38 el histórico de mediciones en el Ágora de la FISEI.

Humedad y temperatura

La humedad en el ágora estuvo por encima de un nivel adecuado, superando el 70% en algunas ocasiones debido a que se encontraban aproximadamente 60 personas al momento de realizar las mediciones. Cabe recalcar que la humedad no llega a ser un problema de salud, si no al causar un malestar en las personas que se encuentran en el sitio, el promedio de temperatura durante la medición fue de 65.24%, las mediciones se muestran en la figura 39.

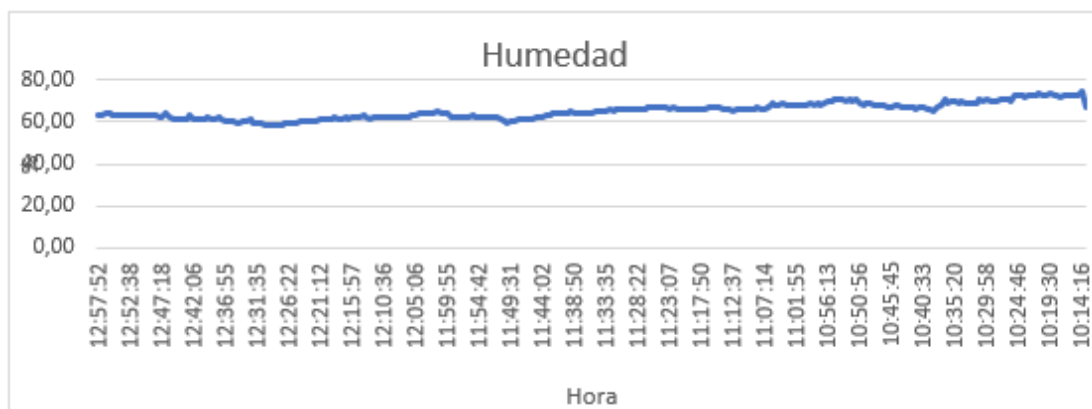


Figura 39. Mediciones Humedad 23/06/23 Ágora FISEI

Elaborado por: El investigador

El promedio de temperatura durante la prueba se mantuvo en 20.23°C sin indicar un problema ni molestia para las personas que se encontraban en ese momento en el Ágora de la FISEI.

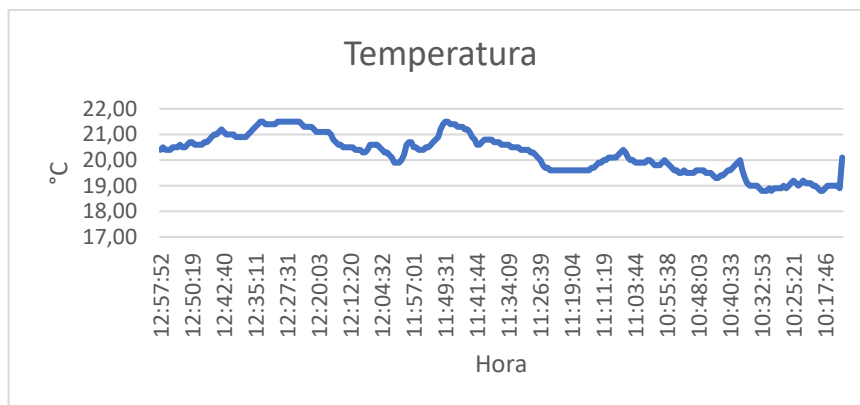


Figura 40. Mediciones Temperatura 23/06/23 Ágora FISEI
Elaborado por: El investigador

El promedio de las pruebas en el ágora fueron los siguientes:

Tabla 16. Promedio mediciones Ágora FISEI

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 97,5 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 457,7 | ppm |
| Temperatura | 20,23 | °C |
| Humedad | 65,24 | % |

Elaborado por el investigador

Para el ágora de la FISEI se encuentra que los niveles de contaminantes se mantienen bajos, debido a que al ser un sitio abierto no existe la posibilidad para que los contaminantes se acumulen alrededor del prototipo.

Anexo 2: Mediciones 27/06/2023

Mediciones 27 de junio del 2023 (Biblioteca general de la Universidad Técnica de Ambato)

Para el 27 de junio las mediciones se realizaron en la biblioteca de la Facultad de Diseño, Arquitectura y Artes, existe una gran cantidad de personas que acuden a esta biblioteca en promedio se calcula que más de 90 personas acuden a esta biblioteca, por lo que el nivel de contaminantes ambientales se elevó por encima de las 300 ppm, como se muestra en la figura 41.

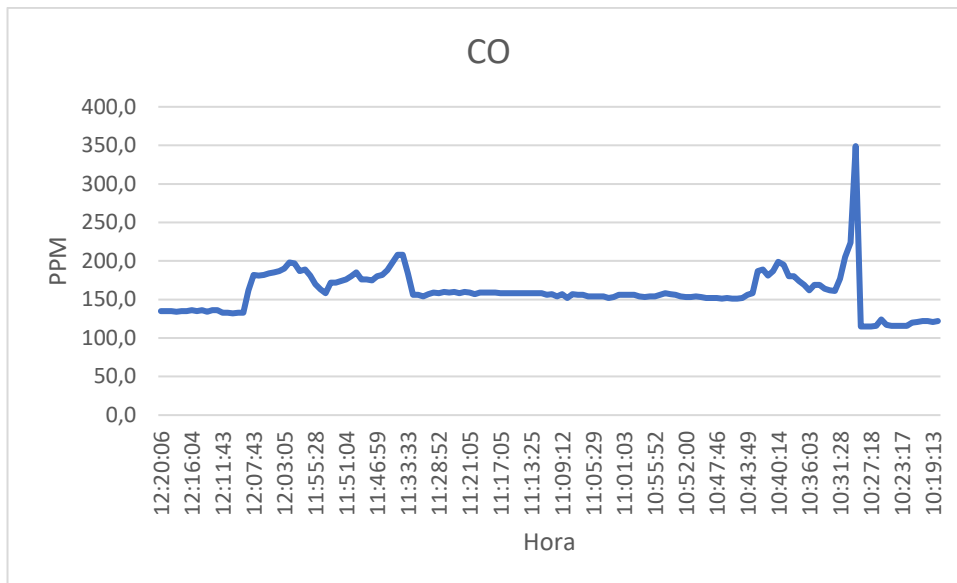


Figura 41. Mediciones CO 27/06/23 Biblioteca General
Elaborado por: El investigador

Para esta medición se obtuvo un promedio de ppm de CO de 159.4 ppm, sin ser un nivel preocupante, pero siendo un nivel por encima de las mediciones realizadas con anterioridad.

Dióxido de Carbono

En la figura 42 se muestra que el CO₂ se elevó, debido a la llegada de 12 estudiantes a la Biblioteca General, llegando por encima de las 1000 ppm con un promedio de 874.8 ppm.

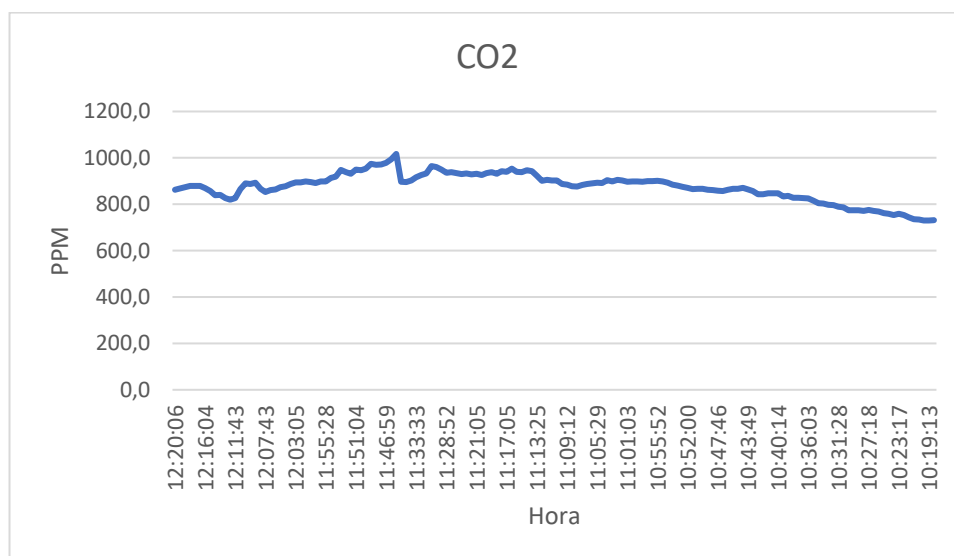


Figura 42. Mediciones CO₂ 27/06/23 Biblioteca General
Elaborado por: El investigador

No se considera un nivel peligroso en el tiempo que se tomó en cuenta para las mediciones que fue un intervalo de 10 minutos en el que las personas ingresaron a la biblioteca.

Humedad y temperatura

La humedad no supera los valores que pudieran causar molestias, Con un promedio de 62.57% de humedad, se muestra en la figura 43.

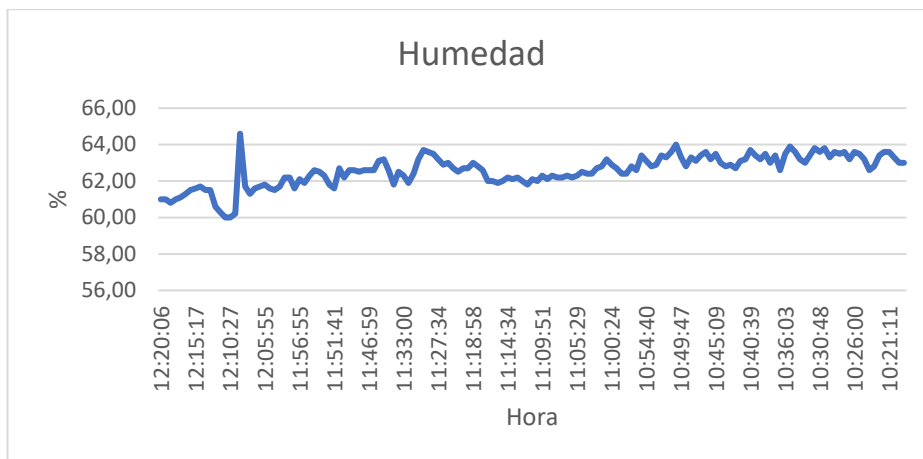


Figura 43. Mediciones Humedad 27/06/23 Biblioteca General
Elaborado por: El investigador

La temperatura aumentó aproximadamente 1.25°C, dado que las pruebas se realizaron en verano la variación en temperatura se incrementó, pero se mantuvo en promedio en 22.08°C, la variación se muestra en la figura 44.

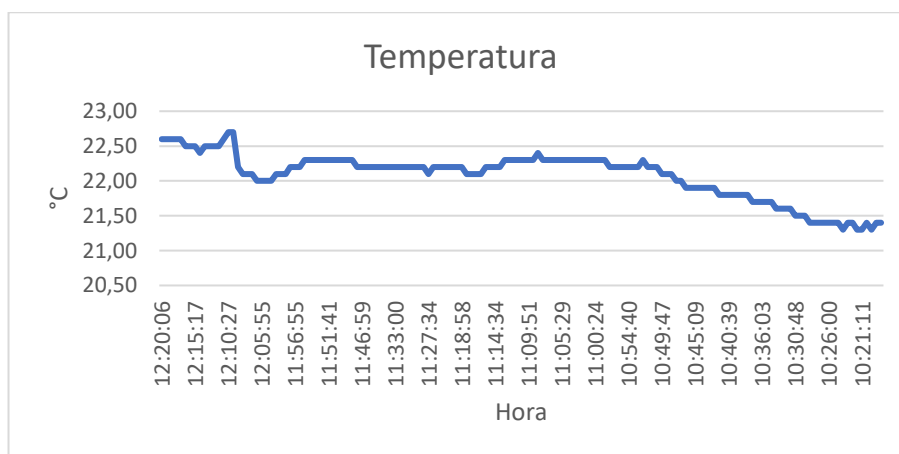


Figura 44. Mediciones Temperatura 27/06/23 Biblioteca General.
Elaborado por: el investigador

Para las mediciones del día 27 de junio del 2023, el promedio de mediciones es:

Tabla 17. Promedio mediciones 27/06/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 159,4 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 875,7 | ppm |
| Temperatura | 22,08 | °C |
| Humedad | 62,57 | % |

Elaborado por el investigador

Se concluye que en la Biblioteca General la calidad del aire cuenta con un nivel superior de contaminantes ambientales, indicando una posible mala ventilación del lugar.

Mediciones 27 de junio del 2023 (Salida principal de la Universidad Técnica de Ambato)

Monóxido de carbono

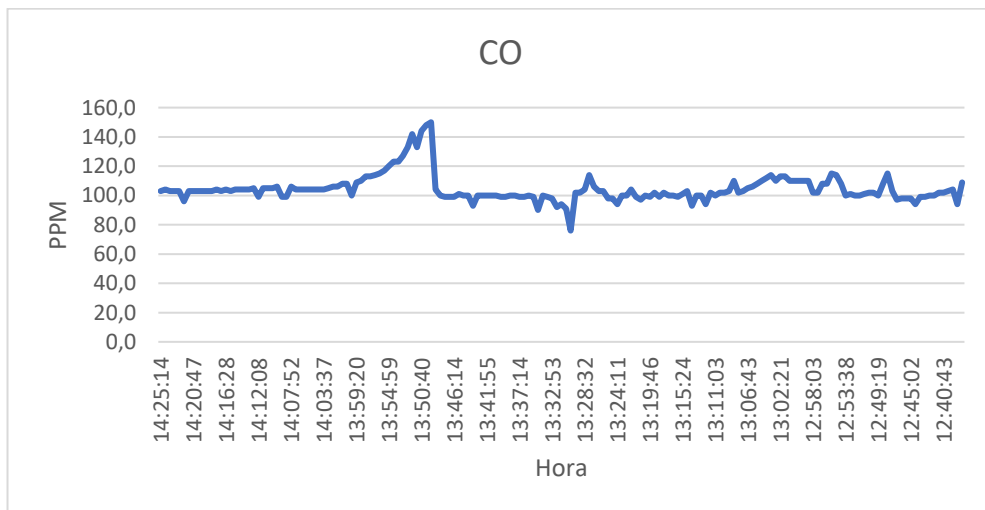


Figura 45. Mediciones CO 27/06/23 Salida principal UTA
Elaborado por: El investigador

Los niveles de monóxido a la salida principal de la Universidad Técnica de Ambato se mantuvieron estables con 70 personas en el sitio, con un promedio de 102.6 ppm durante la medición como lo indica la tabla 10, este valor se mantiene por debajo del límite peligroso considerado, sus valores se muestran en la figura 45.

Dióxido de Carbono.

El nivel de CO2 en la salida de la Universidad Técnica de Ambato se mantuvo con un promedio de 464ppm, con incrementos ocasionales por encima de las 500 ppm, sin

embargo, es un sitio abierto los contaminantes no se concentran en la salida principal. Los datos se muestran en la figura 46.

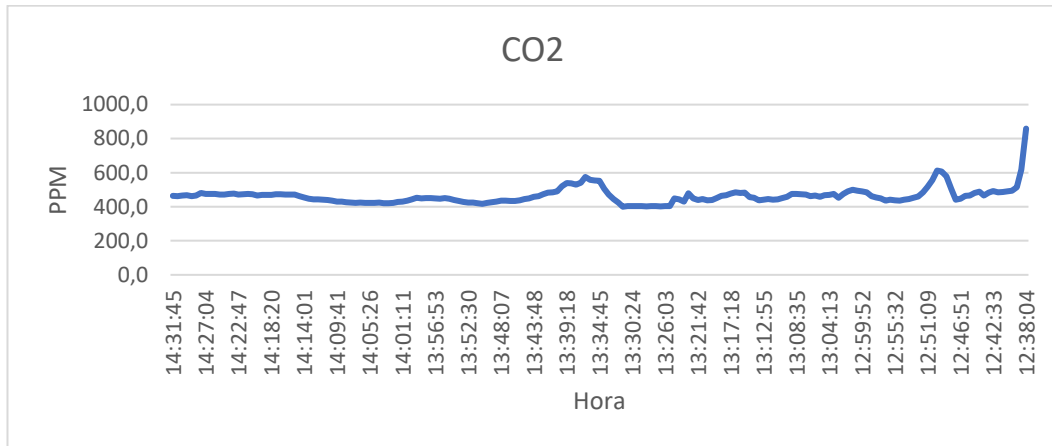


Figura 46. Mediciones CO2 27/06/23 entrada principal UTA
Elaborado por: El investigador

Humedad y Temperatura.

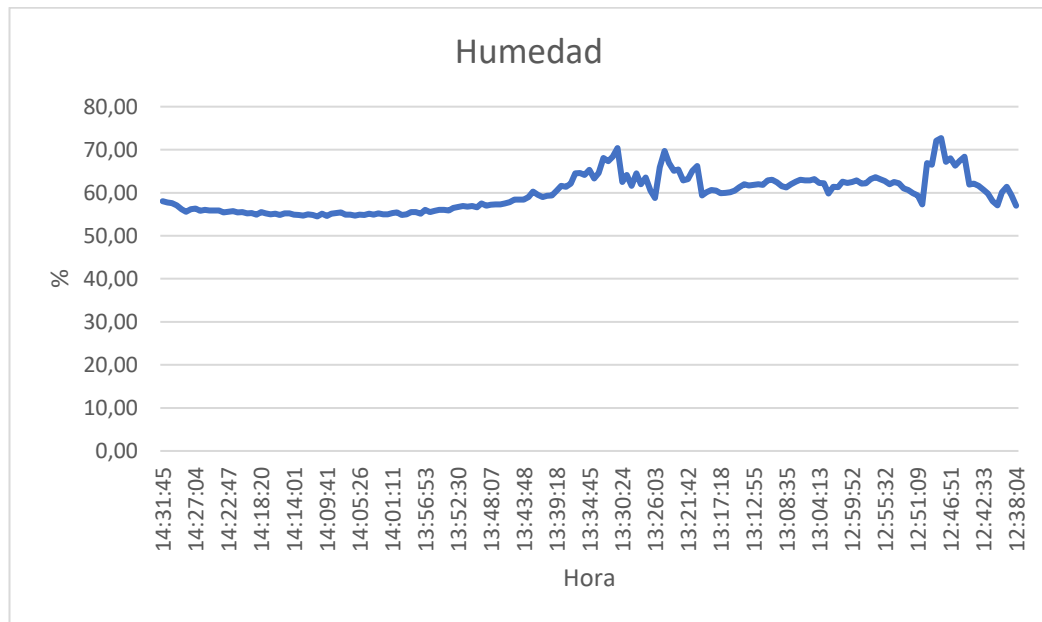


Figura 47. Mediciones Humedad 27/06/23 entrada principal UTA
Elaborado por: El investigador

Las mediciones de humedad se muestran en la figura 47, tuvo un promedio de 59.78%, manteniéndose en un nivel aceptable para las personas.

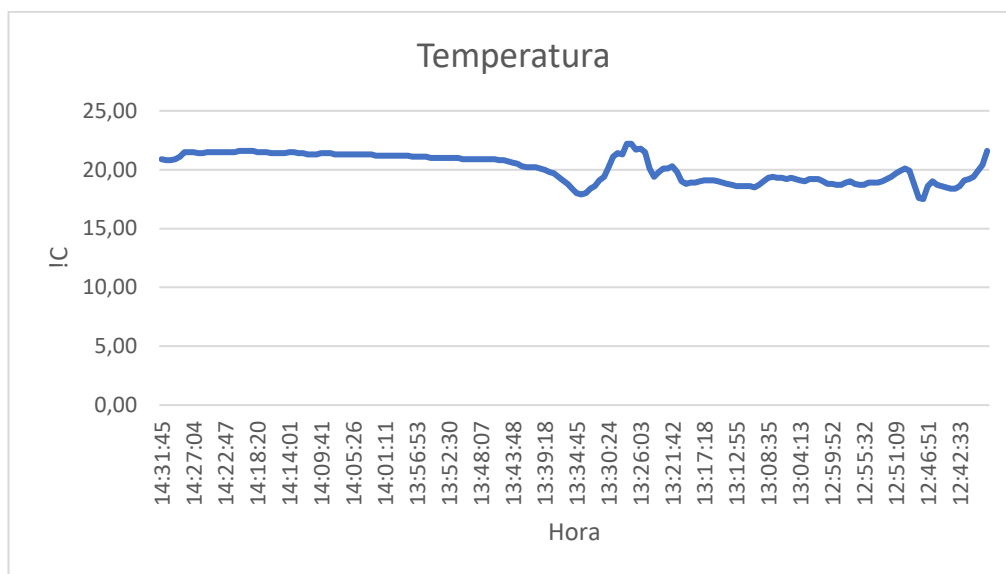


Figura 48. Mediciones Temperatura 27/06/23 entrada principal UTA
Elaborado por: El investigador

La temperatura en el día que se realizaron las mediciones se encontraba soleado se mantuvo por encima de los 20°C, en un promedio de 20.17°C durante la medición, sin causar problema ni molestia alguna a las personas que se encontraban a la salida de la Universidad entre las 12-14 PM.

El promedio de mediciones a la salida principal de la Universidad Técnica de Ambato Campus Huachi, fueron:

Tabla 18. Promedio mediciones 27/06/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 102,6 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 464,0 | ppm |
| Temperatura | 20,17 | °C |
| Humedad | 59,78 | % |

Elaborado por el investigador

La calidad del aire en la entrada principal de la Universidad se mantiene bajo los niveles adecuados, por lo que no existe un problema para la calidad del aire en esta zona, todos manteniéndose bajo los valores normales indicados en la tabla 10.

Anexo 3: Mediciones 30/07/2023

Mediciones 30 de junio del 2023 (Aula de clases F02)

Las mediciones se realizaron en un aula de clase con aproximadamente 20 personas, por lo que los niveles de contaminación no fueron extremadamente altos.

Monóxido de Carbono

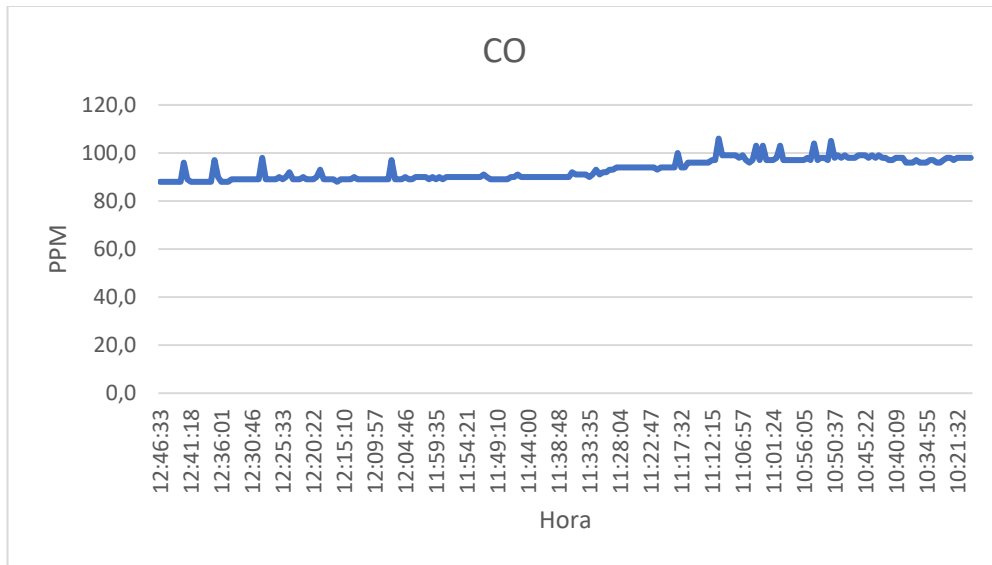


Figura 49. Mediciones CO 30/06/23 aula F02 de clases
Elaborado por: El investigador

Para las mediciones que se muestran en la figura 49, no se encontraba una gran cantidad de personas en el aula y la cantidad de monóxido tuvo un promedio de 92.9 ppm así que no exceden niveles problemáticos para las personas como se muestra en la tabla 10.

Dióxido de Carbono

Las mediciones de CO₂ dentro del aula de clases se mantuvieron altos debido a que no existía ventilación en el sitio, llegando a un promedio de 607 ppm durante la medición, los datos de medición se muestran en la figura 50.

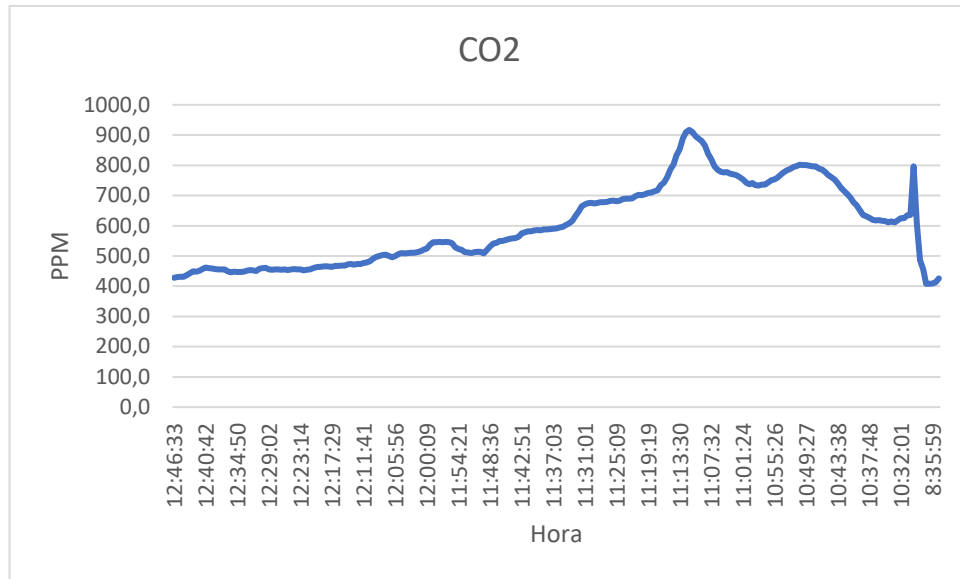


Figura 50. Mediciones CO2 30/06/23 aula F02 de clases
Elaborado por: El investigador

Humedad y Temperatura

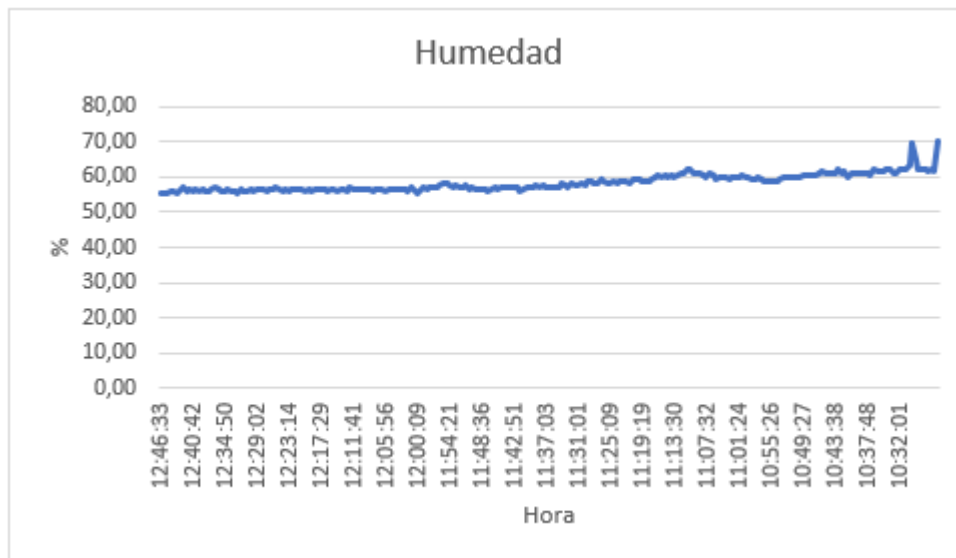


Figura 51. Mediciones Humedad 30/06/23 aula F02 de clases
Elaborado por: El investigador

La figura 51 indica que la humedad en el sitio se mantiene nivelada con un promedio de 58.26%.

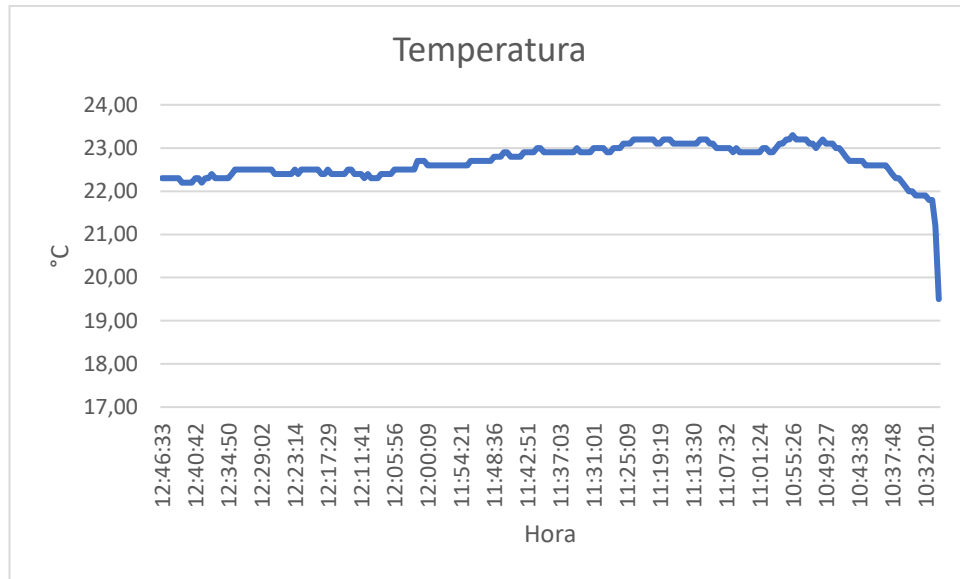


Figura 52. Mediciones Temperatura 30/06/23 aula F02 de clases
Elaborado por: El investigador

La figura 52 indica que pese a estar en un lugar cerrado la temperatura se incrementó debido a la cantidad de personas que se encontraban en el sitio y a la poca ventilación del lugar con un promedio de 22.68°C.

El promedio de mediciones para estos datos fueron los siguientes:

Tabla 19. Promedio mediciones 30/06/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 92,9 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 601,8 | ppm |
| Temperatura | 22,60 | °C |
| Humedad | 58,43 | % |

Elaborado por el investigador

Se puede determinar que la calidad del aire en los interiores de este curso al no tener una ventilación adecuada se acumuló una cantidad de contaminantes, pero no en cantidades peligrosas para las personas que estaban en su interior.

Anexo 4: Mediciones 04/07/2023

Mediciones 04 de julio del 2023 (Pasillos edificio 2 de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, primer piso)

Monóxido de Carbono

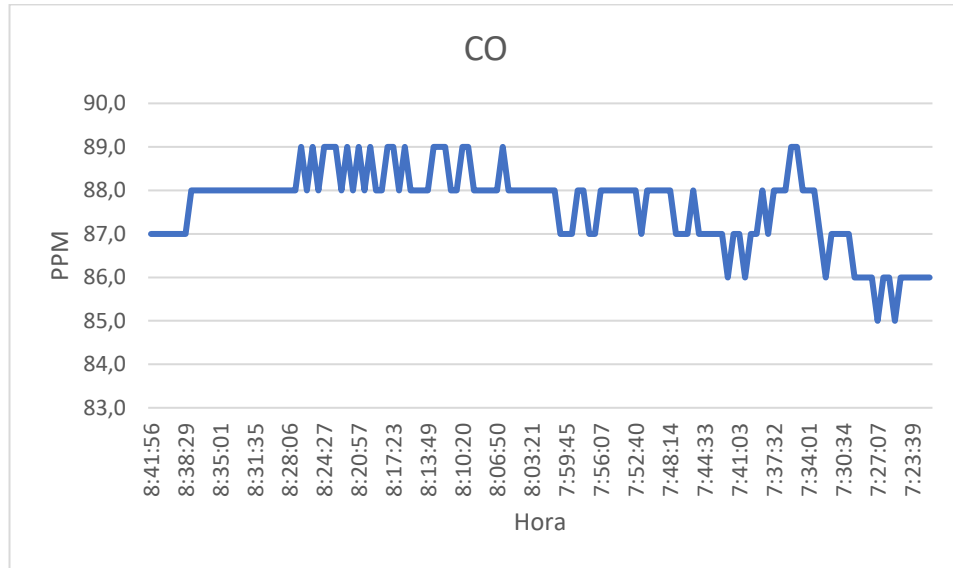


Figura 53. Mediciones CO 04/07/23 pasillos FISEI
Elaborado por: El investigador

Las mediciones realizadas para aproximadamente 50 personas en los pasillos de la FISEI se indican en la figura 53, los que no mostraron una cantidad peligrosa de Monóxido de Carbono con un promedio de 87.6 ppm.

Dióxido de Carbono

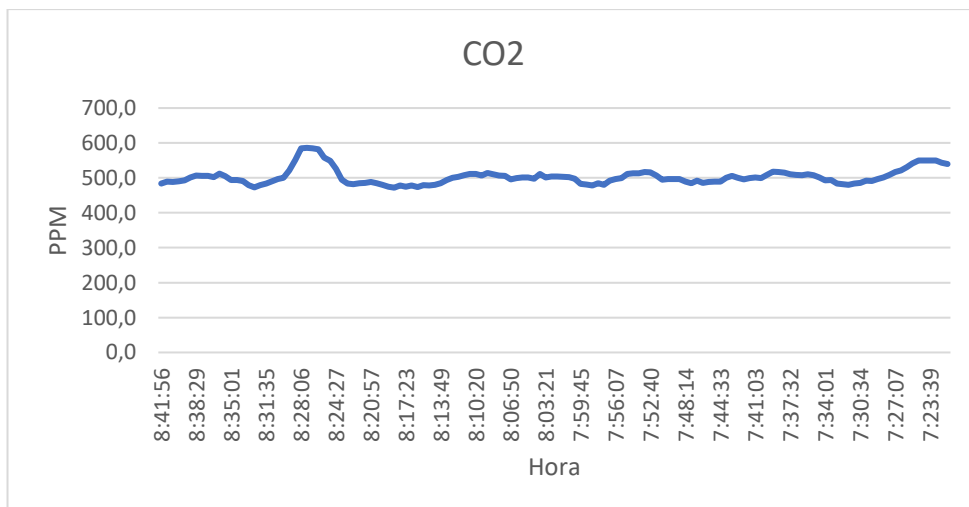


Figura 54. Mediciones CO2 04/07/23 pasillos FISEI
Elaborado por: El investigador

La cantidad de partículas que se encontraron en la medición no implican un valor peligroso con un promedio de 503.1 ppm dado que es un espacio abierto en el que se encontraba el prototipo.

Humedad y Temperatura

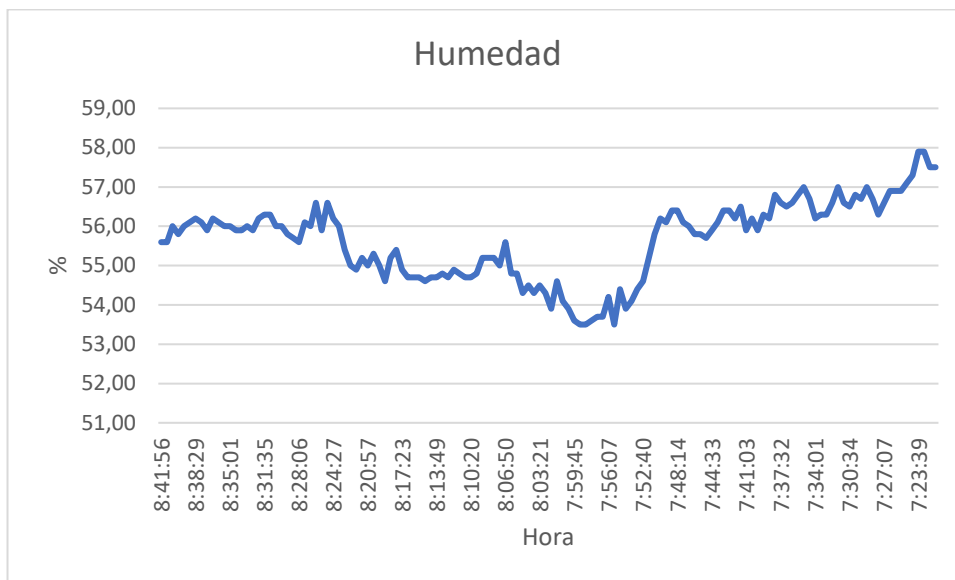


Figura 55. Mediciones Humedad 04/07/23 pasillos FISEI
Elaborado por: El investigador

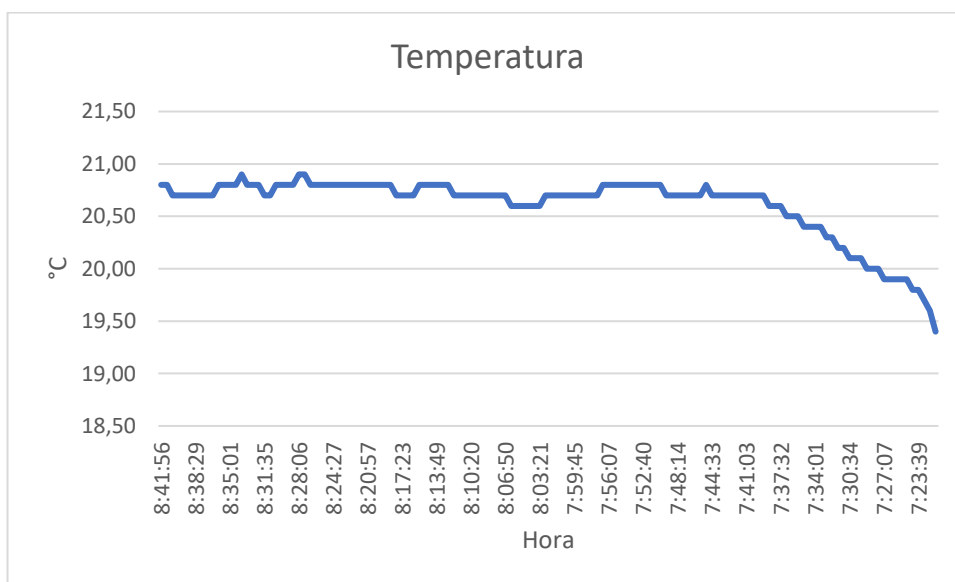


Figura 56. Mediciones Temperatura 04/07/23 pasillos FISEI
Elaborado por: El investigador

La humedad y temperatura se mantuvieron en valores normales con un promedio de 20.61°C y 55.64% respectivamente mostrados en las figuras 55 y 56, estos niveles no llegaron a ser molestos para las personas que se encontraban en ese momento en los

pasillos de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial bajo lo indicado en la tabla 10.

Finalmente, el promedio de calidad del aire para la medición realizada en los pasillos de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial fue de:

Tabla 20. Promedio mediciones 04/07/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 87,6 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 509,6 | ppm |
| Temperatura | 20,63 | °C |
| Humedad | 55,75 | % |

Elaborado por el investigador

Al ser un espacio abierto no existe un problema significativo respecto a la concentración de partículas contaminantes en el sitio de medición.

Mediciones 05 de julio del 2023 (Estacionamiento Casa Universitaria Campus Huachi, segundo nivel)

Monóxido de Carbono

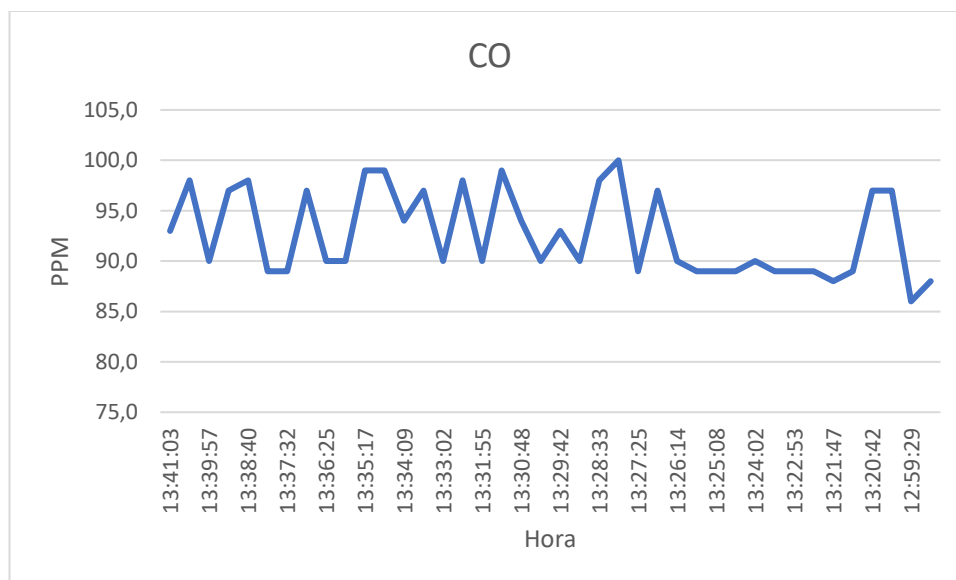


Figura 57. Mediciones CO 05/07/23 estacionamiento Casa Universitaria
Elaborado por: El investigador

De acuerdo a la tabla 10, la cantidad de partículas detectadas en la medición realizada en el estacionamiento de la Casa Universitaria Campus Huachi no indicó ningún problema con una cantidad peligrosa con un promedio de 92.7 ppm durante la medición, cabe recalcar que no había personas en el momento de la medición.

Dióxido de Carbono

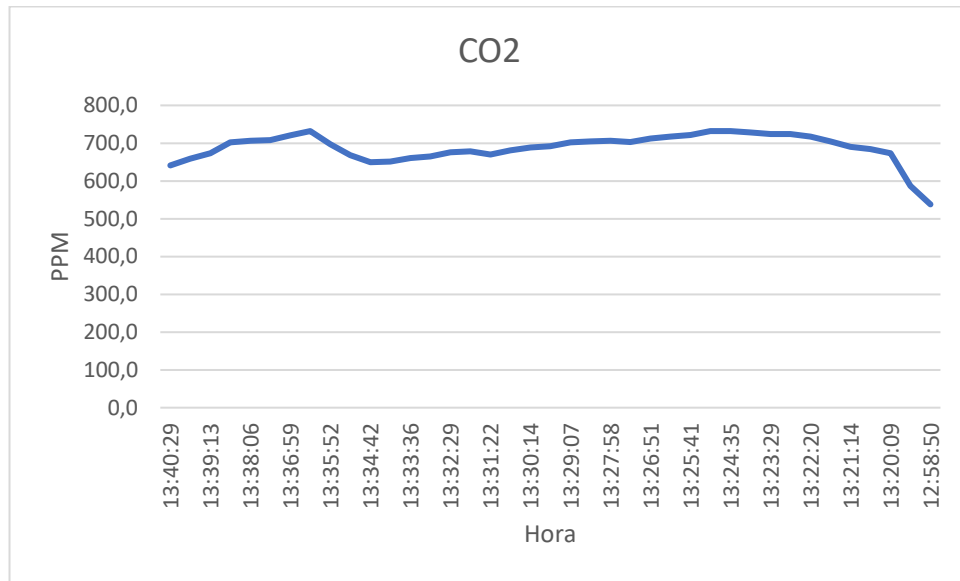


Figura 58. Mediciones CO2 05/07/23 estacionamiento Casa Universitaria

Elaborado por: El investigador

El CO2 medido en el estacionamiento de la Casa Universitaria indica una cantidad por debajo de las 1000ppm, sin embargo, es una cantidad por encima de los valores normales con un promedio de 686.2 ppm, su medición se muestra en la figura 58.

Humedad y Temperatura

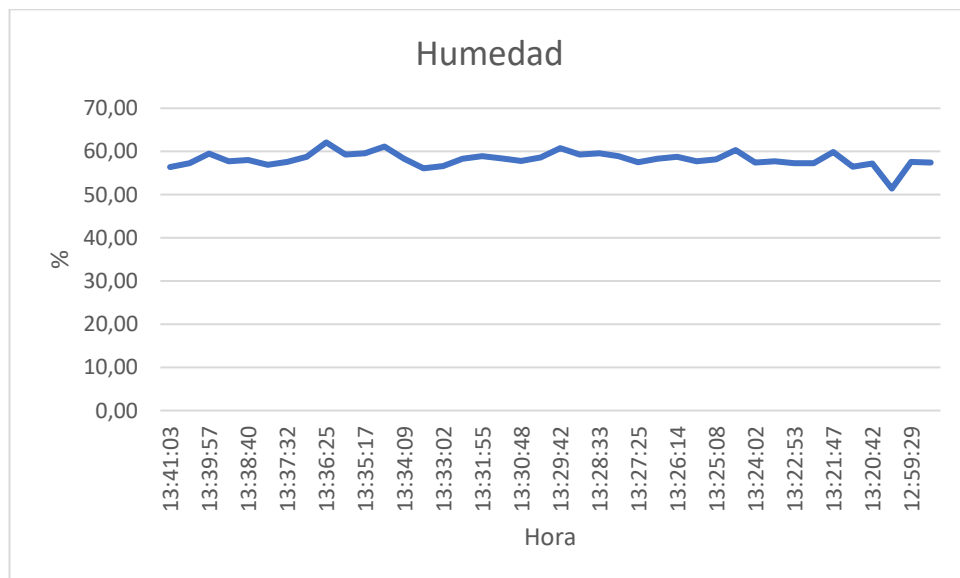


Figura 59. Mediciones Humedad 05/07/23 estacionamiento Casa Universitaria

Elaborado por: El investigador

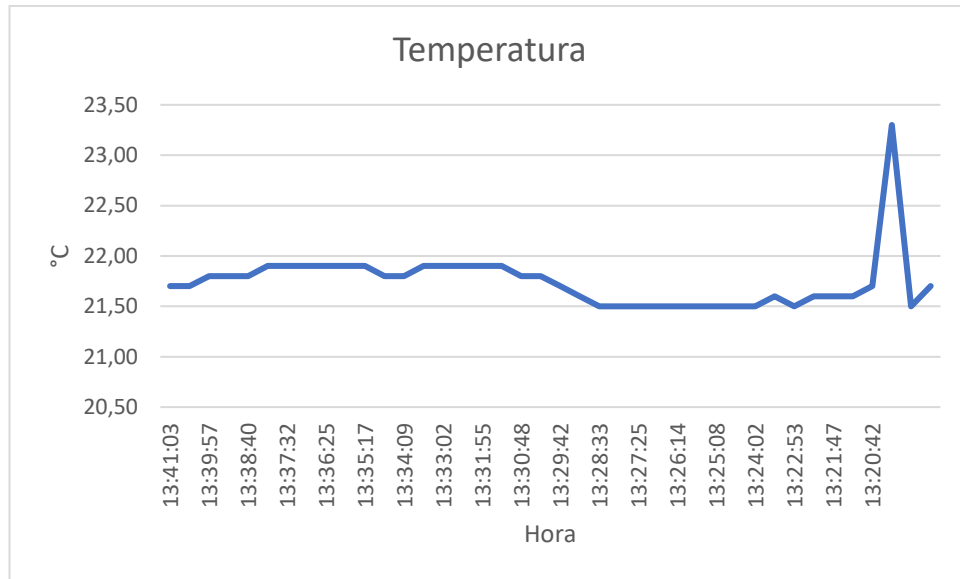


Figura 60. Mediciones Temperatura 05/07/23 estacionamiento Casa Universitaria
Elaborado por: El investigador

La humedad y temperatura en la medición realizada en el estacionamiento de la Casa Universitaria fue de 21,75°C y 58,16%.

Para las mediciones realizadas en el estacionamiento Casa Universitaria campus Huachi se obtuvieron las siguientes mediciones en promedio:

Tabla 21. Promedio mediciones 05/07/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 92,7 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 686,2 | ppm |
| Temperatura | 21,75 | °C |
| Humedad | 58,16 | % |

Elaborado por el investigador

La calidad del aire dentro del estacionamiento de la Casa Universitaria UTA campus Huachi se puede llegar a determinar cómo adecuado, sin embargo, no es lo mejor dado que existen concentraciones de contaminantes como el CO2 que exceden niveles adecuados como lo indicado en la tabla 10.

Anexo 5: Mediciones 05/07/2023

Mediciones 05 de julio del 2023 (Laboratorio Industrial II de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial)

Monóxido de Carbono

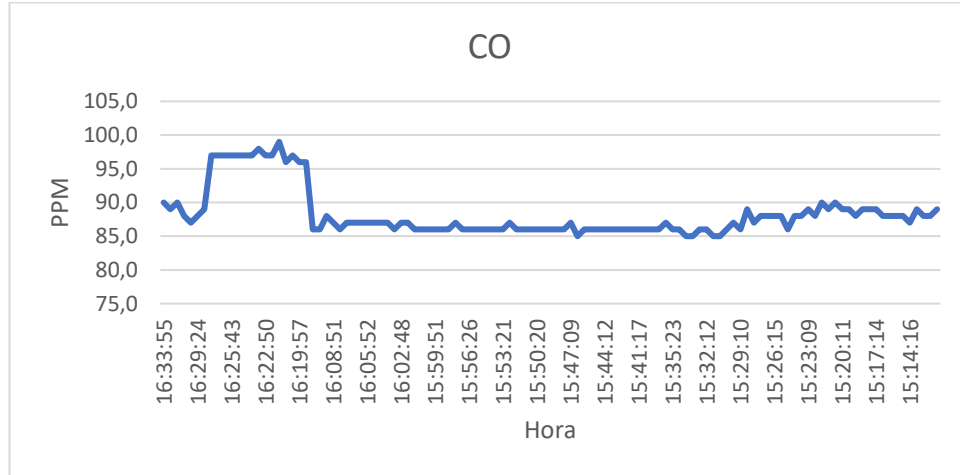


Figura 61. Mediciones CO 05/07/23 laboratorio industrial 2 de la FISEI
Elaborado por: El investigador

La concentración de ppm en el sitio se mantuvo muy baja por debajo de las 100 ppm contando con que solo se encontraban presentes 22 personas en el lugar, la ventilación en el sitio era constante y las ventanas del lugar se encontraban abiertas, de las mediciones de monóxido de carbono se obtuvieron un promedio de 88.3 ppm como se muestra en la figura 61.

Dióxido de Carbono

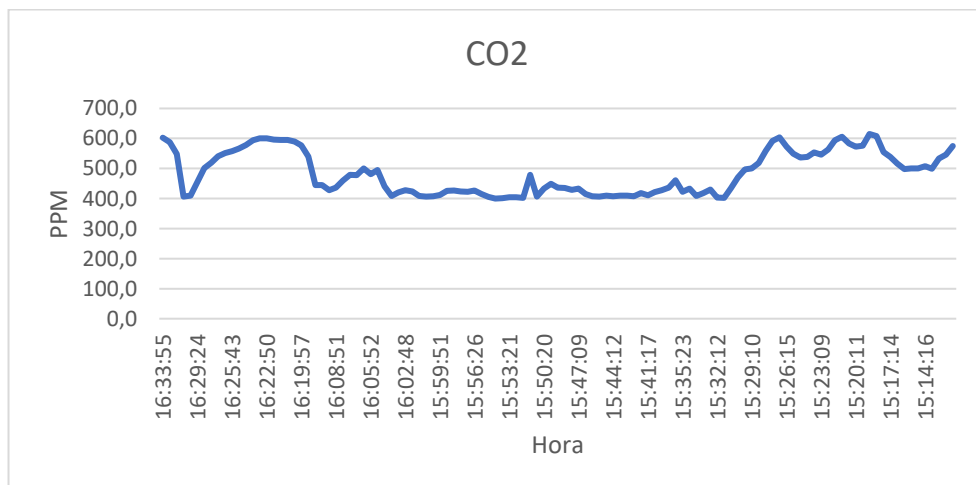


Figura 62. Mediciones CO2 05/07/23 laboratorio industrial 2 de la FISEI
Elaborado por: El investigador

Pese a que existía ventilación en el sitio la cantidad de ppm de CO2 en el lugar estuvo en una pequeña cantidad por encima de lo normal, pero con un promedio de 484.6 ppm, Como se muestra en la figura 62.

Humedad y Temperatura

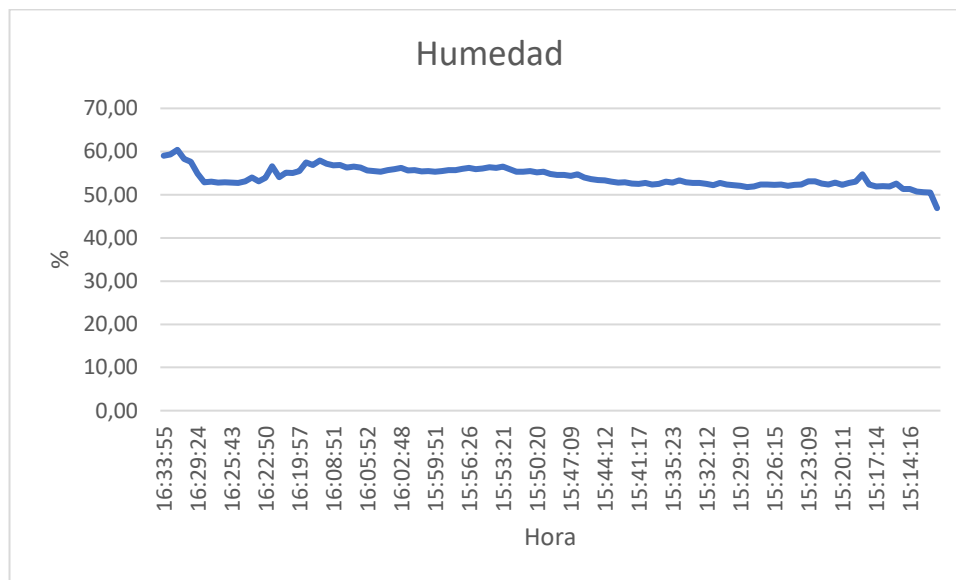


Figura 63. Mediciones Humedad 05/07/23 laboratorio industrial 2 de la FISEI
Elaborado por: El investigador

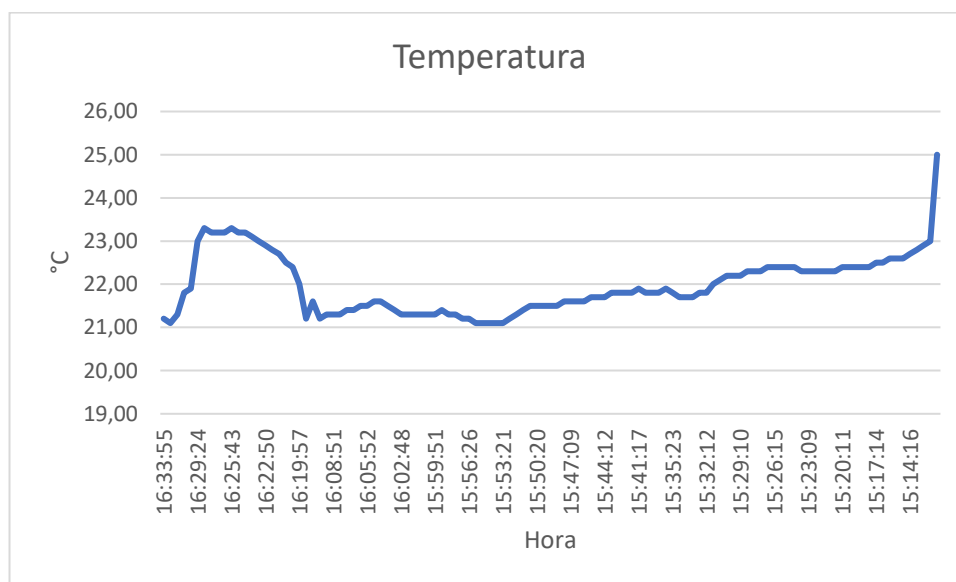


Figura 64. Mediciones Temperatura 05/07/23 laboratorio industrial 2 de la FISEI
Elaborado por: El investigador

La humedad no excedió valores incómodos para las personas que se encontraban en su interior con un promedio de 54.11%, pero la temperatura mostró valores por encima

de los 22°C lo que puede resultar en una acumulación de calor en el lugar con un promedio de 21.98°C.

Tabla 22. Promedio de mediciones 05/07/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 88,3 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 484,4 | ppm |
| Temperatura | 21,98 | °C |
| Humedad | 54,11 | % |

Elaborado por el investigador

La calidad del aire en el Laboratorio Industrial II de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial se puede considerar que se encuentra bajo los niveles adecuados.

Anexo 6: Mediciones 06/07/2023

Mediciones 06 de julio de 2023 (Aula de clase G03 edificio 2 de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial)

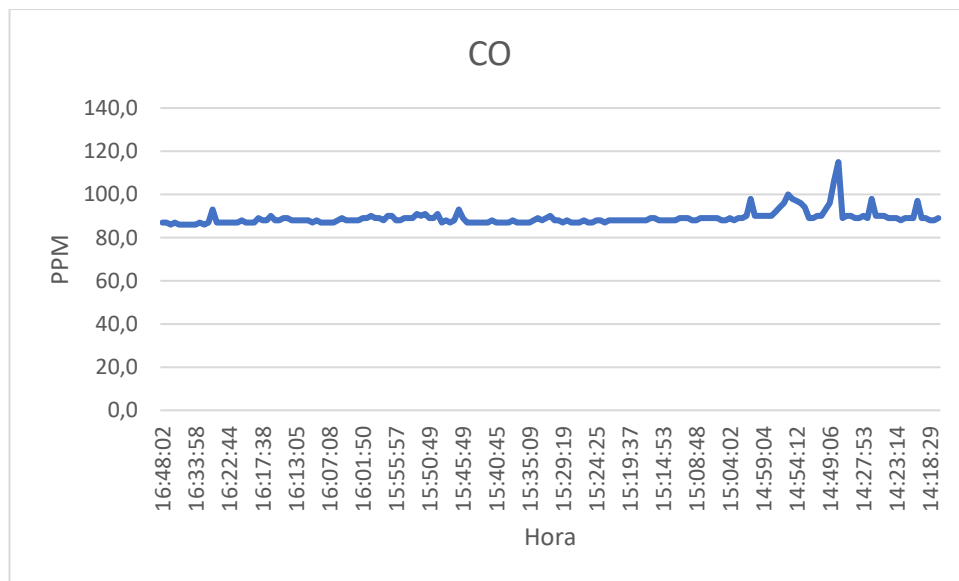


Figura 65. Mediciones CO 06/07/23 aula de clase G03 edificio 2
Elaborado por: El investigador

La cantidad de monóxido de carbono en el laboratorio no excedió la cantidad considerable para ser considerado peligroso, por encima de las 300ppm con un promedio de 89.1 ppm para 32 personas presentes.

Dióxido de Carbono

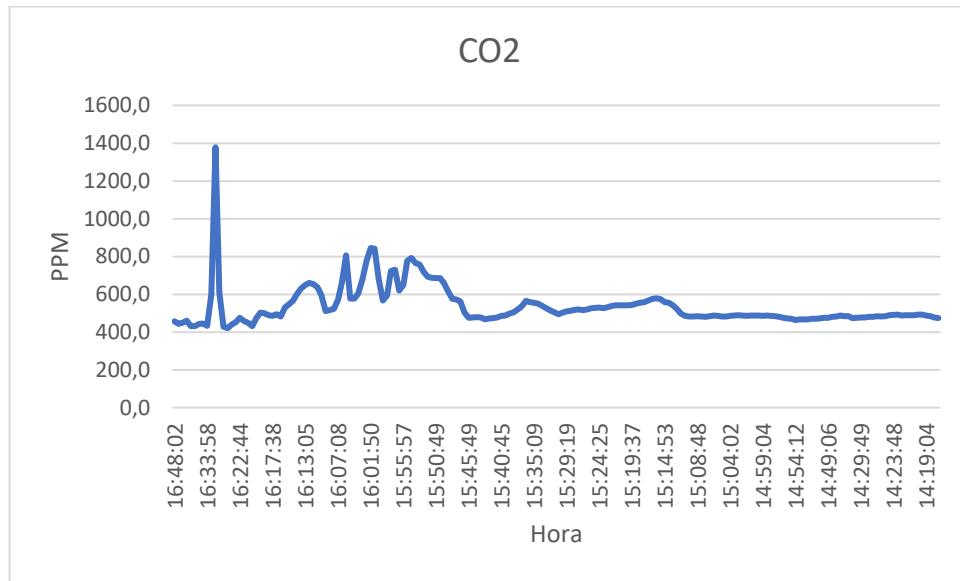


Figura 66. Mediciones CO2 06/07/23 aula de clase G03 edificio 2
Elaborado por: El investigador

En este caso, la cantidad de ppm de CO2 se incrementó en el aula G03 de la FISEI a pesar de que, se cuenta con un sistema de aire acondicionado, el sistema no se enciende con frecuencia, lo que causó que la concentración de partículas de dióxido de carbono sea muy alta por encima de los valores apropiados, con un promedio de 536.6 ppm siendo valores altos en comparación a otros sitios en los que se realizó las mediciones, las mediciones se muestran en la figura 66.

Humedad y Temperatura

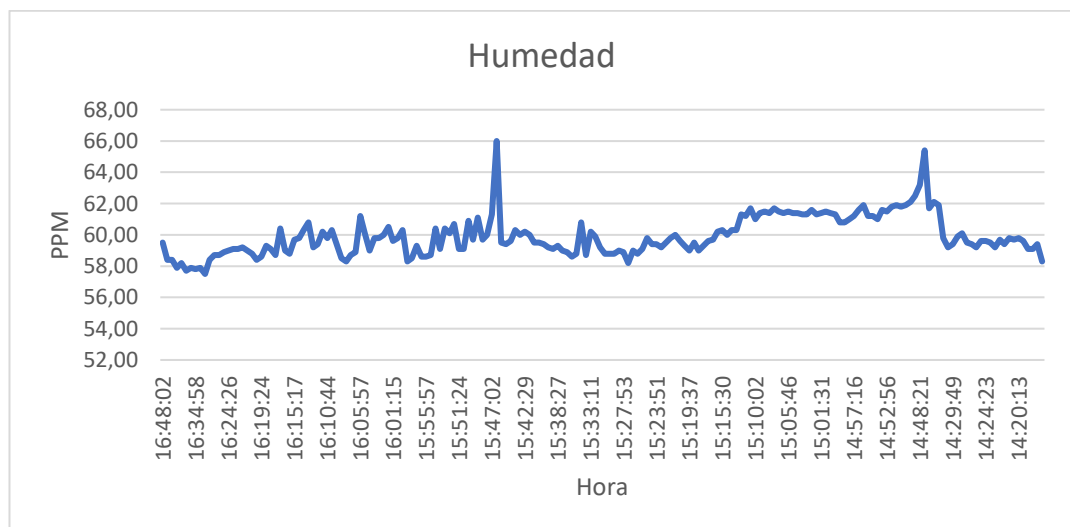


Figura 67. Mediciones Humedad 06/07/23 aula de clase G03 edificio 2
Elaborado por: El investigador

La humedad en el aula se mantuvo a un nivel adecuado, pero con el pasar del tiempo se evidencian picos en el porcentaje de humedad dada la mala ventilación que existe en el aula con un promedio de 59.92%.

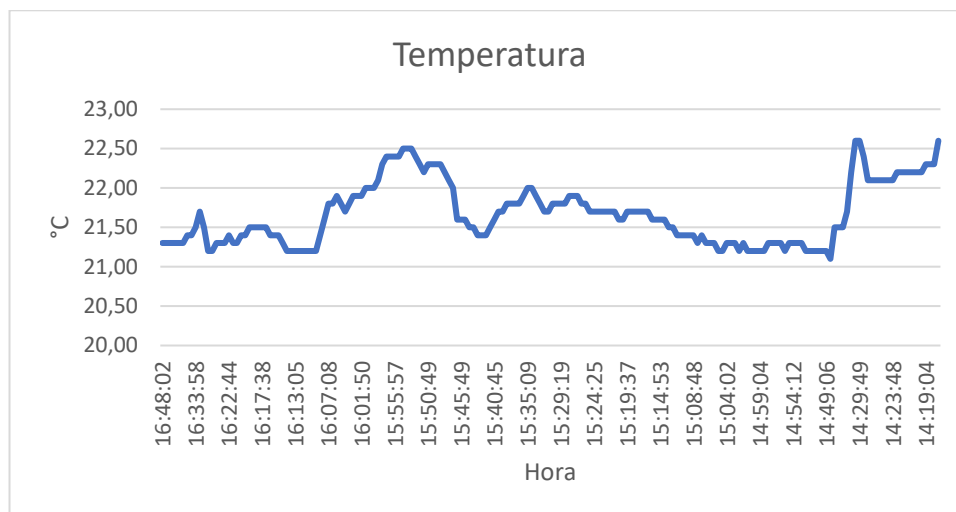


Figura 68. Mediciones Temperatura 06/07/23 aula de clase G03 edificio 2
Elaborado por: El investigador

La temperatura en el aula de clases indicó que dada la mala ventilación en el lugar se mantuvo en niveles altos, pero no molestos para las personas que se encontraban en el lugar, con un promedio de 21.67°C.

En promedio las mediciones para el día 06 de julio del 2023 fueron:

Tabla 23. Promedio mediciones 06/07/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 89,1 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 536,6 | ppm |
| Temperatura | 21,67 | °C |
| Humedad | 59,92 | % |

Elaborado por el investigador

Las mediciones en este curso indicaron una alta presencia de contaminantes dada la mala ventilación del sitio en el que se realizaron las pruebas.

Anexo 7: Mediciones 07/07/2023

Mediciones 07 de julio del 2023 (Pasillos FISEI segundo piso)

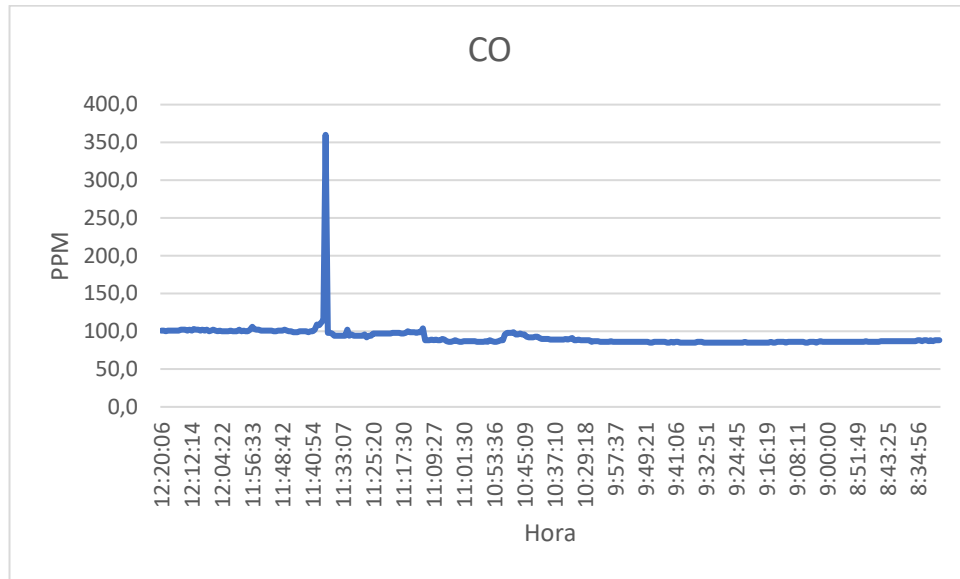


Figura 69. Mediciones CO 07/07/23 pasillos FISEI segundo piso
Elaborado por: El investigador

Para las mediciones de este día se encontraron valores inusualmente altos en el rango de las 11:36 a las 11:43 AM con 40 personas que se tomaron en cuenta para la medición, con un promedio de 92.1 ppm como se indica en la figura 69.

Dióxido de carbono

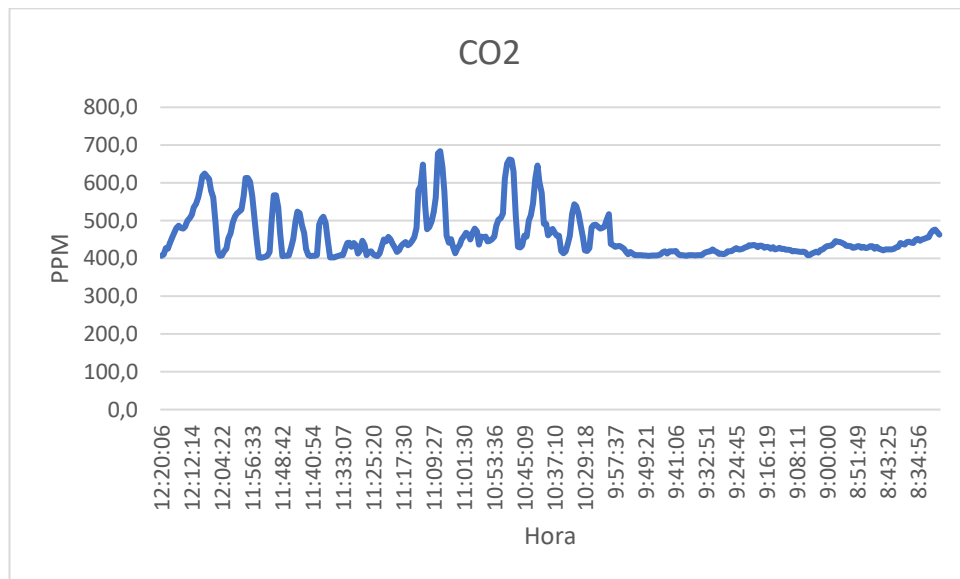


Figura 65. Mediciones CO2 07/07/23 pasillos FISEI segundo piso
Elaborado por el investigador

Los niveles de CO2 se mantuvieron constantes pero el nivel de contaminación aumentó cuando la cantidad de personas aumentó en el sitio, mostrando un promedio durante las mediciones de 457 ppm.

Humedad y Temperatura

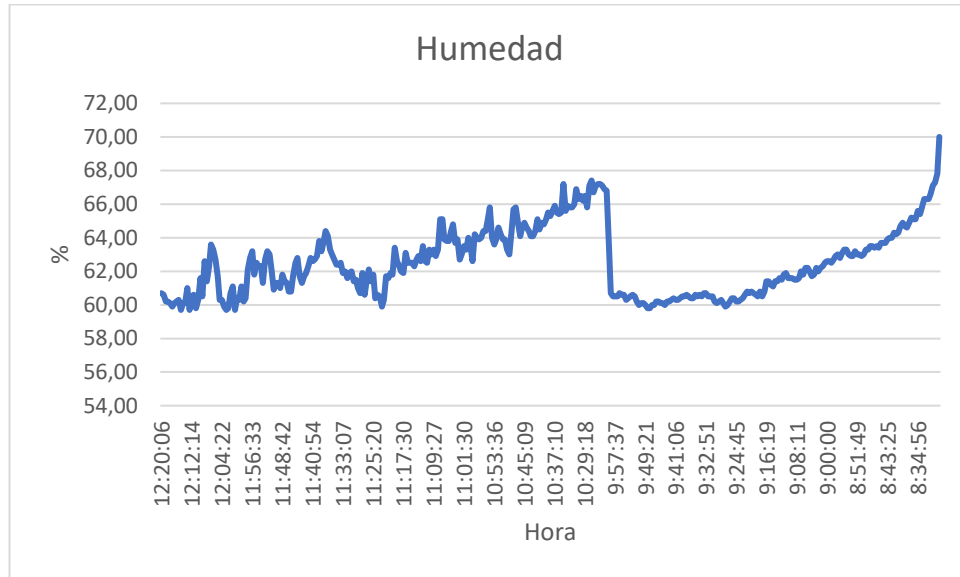


Figura 70. Mediciones Humedad 07/07/23 pasillos FISEI segundo piso
Elaborado por: El investigador

La humedad tuvo un incremento en horas de la mañana, pero constantemente fue descendiendo, para luego nuevamente incrementar su porcentaje en el momento en el que más personas llegaron al sitio, con un alto promedio de 62.53% durante las pruebas que se muestran en la figura 70.

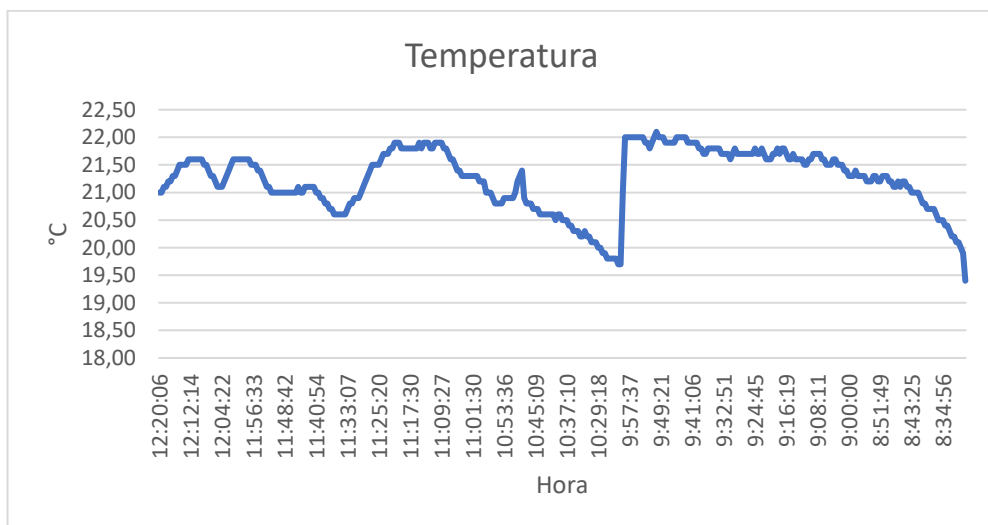


Figura 71. Mediciones Temperatura 07/07/23 pasillos FISEI segundo piso
Elaborado por: El investigador

La temperatura ambiente en el lugar a lo largo de las mediciones tuvo un promedio de 21.25°C.

Para las mediciones del día 07 de julio del 2023 se obtuvieron los siguientes valores promedio:

Tabla 24. Promedio mediciones 07/07/23

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 92,1 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 457,0 | ppm |
| Temperatura | 21,25 | °C |
| Humedad | 62,53 | % |

Elaborado por el investigador

Para las mediciones realizadas el 07 de julio del 2023 la calidad del aire se puede considerar adecuada, el problema principal que se encontró fue la humedad por encima del 50%.

Anexo 8: Mediciones 08/07/2023

Mediciones 08/07/2023 (Parada de buses Universidad Técnica campus Huachi)

Las mediciones realizadas en la parada de bus cerca de la Universidad Técnica de Huachi evidenciaron que la gran concurrencia de automóviles aumenta la cantidad de contaminantes para las personas que se encuentran en el lugar, que aproximadamente fueron 120 en el transcurso del tiempo de medición.

Monóxido de Carbono

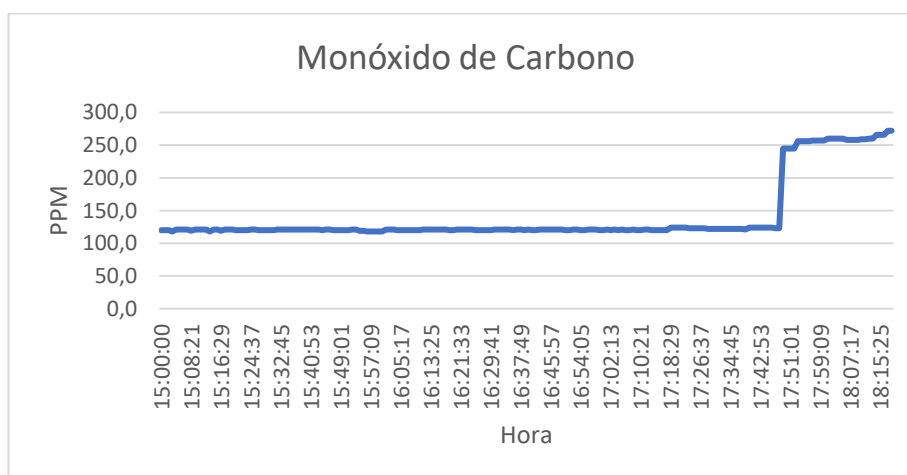


Figura 72. Mediciones CO 08/07/2023 Parada de Buses
Elaborado por: el investigador

En la figura 72 se muestra que a partir de las 17:42 PM se produjo un incremento en la cantidad de ppm de monóxido del lugar, ya que hubo una gran afluencia de buses y automóviles.

Dióxido de Carbono

Para las mediciones de CO2 la cantidad de vehículos que circulaban influyó en la cantidad de contaminantes en el aire y por lo tanto en la calidad del aire como se muestra en la figura 73.

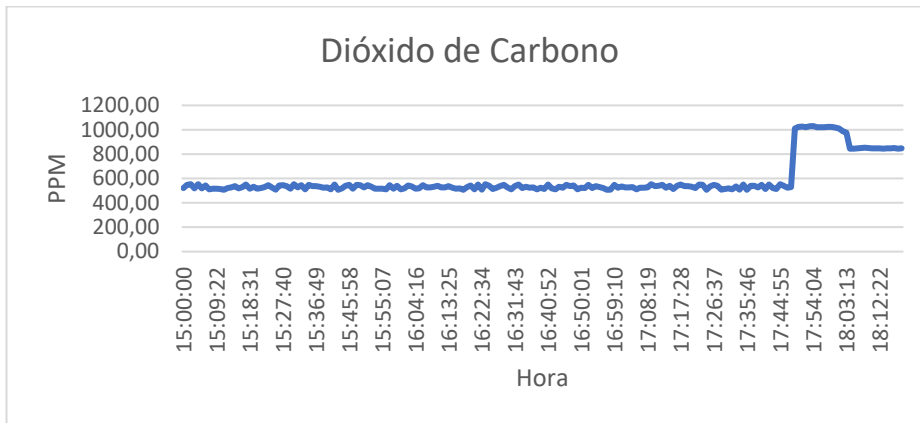


Figura 73. Mediciones CO2 08/07/2023 Parada de buses

Elaborado por: el investigador

Al igual que con el monóxido de carbono una gran cantidad de vehículos provocaron un incremento en la cantidad de ppm por encima de las 1000ppm que bien puede resultar peligroso para las personas como se indicó en la tabla 10.

Humedad y Temperatura

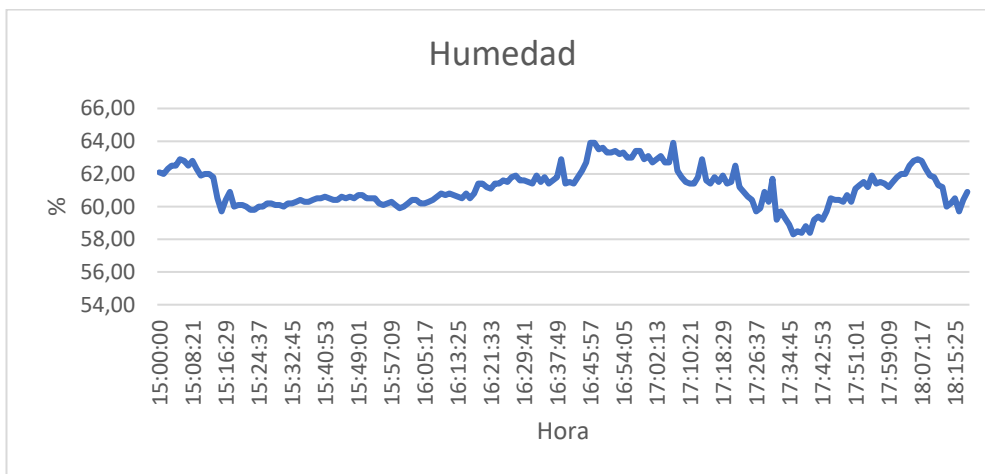


Figura 74. Mediciones Humedad 08/07/2023 Parada de buses

Elaborado por: el investigador

En cuanto a la temperatura como la figura 74 indica a pesar de ser un lugar abierto, la humedad se mantuvo alta por encima de 60% la mayoría del tiempo de mediciones, lo que indica que la humedad no cumple con lo especificado en la tabla 10.

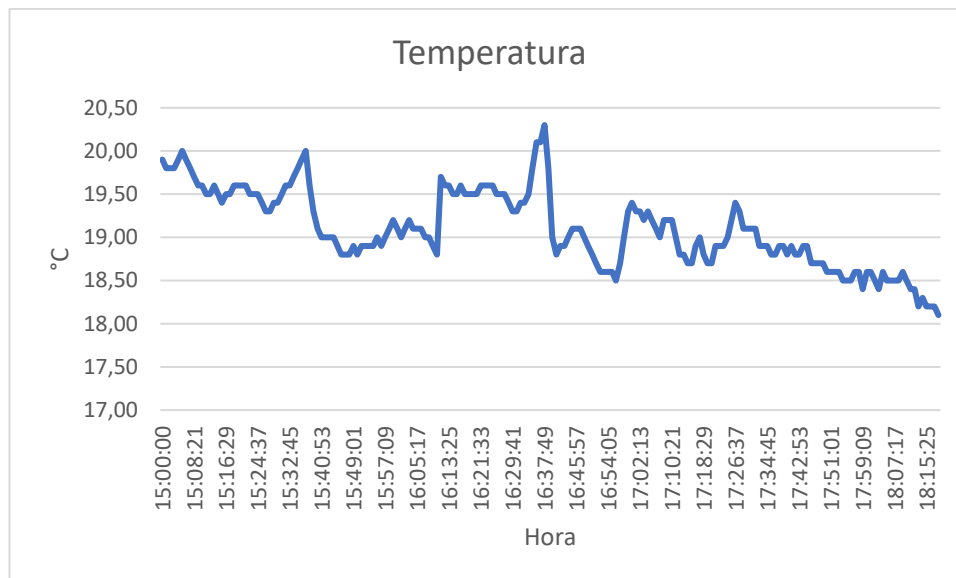


Figura 75. Mediciones temperatura 08/07/2023 Parada de Buses

Elaborado por: el investigador

La temperatura decreció con el tiempo y dado que el prototipo se encontraba en exteriores por lo que tuvo un descenso desde los 20°C hasta aproximadamente los 17°C lo cual se encuentra fuera del rango normal que se propone en la tabla 10.

El promedio de mediciones para el día 08/07/2023 fue:

Tabla 25. Promedio mediciones 08/07/2023

| Variable | Promedio | Unidad |
|------------------------|----------|--------|
| Monóxido de Carbono CO | 141,9 | ppm |
| Dióxido de Carbono CO2 | 590,2 | ppm |
| Temperatura | 19,10 | °C |
| Humedad | 61,17 | % |

Elaborado por: El investigador

Las mediciones del día 08/07/2023 indican que en presencia de vehículos la cantidad de ppm aumenta en muy poco tiempo y si las personas se mantienen en constante exposición con los contaminantes podrían producirse molestias a la salud como dolores de cabeza, garganta o picazón de ojos.

En la tabla 25 se presenta un resumen de las mediciones realizadas en los diferentes lugares de la Universidad Técnica de Ambato.

Tabla 26. Mediciones en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato

| Sitio | Contaminante | PPM promedio | Unidades |
|--|------------------------|---------------------|-----------------|
| Aula de clases H02 Edificio 1 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 109,9 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 748,6 | Ppm |
| | Temperatura | 21,78 | °C |
| | Humedad | 65,33 | % |
| Ágora FISEI | Monóxido de Carbono CO | 97,5 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 457,7 | Ppm |
| | Temperatura | 20,23 | °C |
| | Humedad | 65,24 | % |
| Biblioteca General | Monóxido de Carbono CO | 159,4 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 874,8 | Ppm |
| | Temperatura | 22,08 | °C |
| | Humedad | 62,57 | % |
| Salida UTA | Monóxido de Carbono CO | 102,6 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 464 | Ppm |
| | Temperatura | 20,17 | °C |
| | Humedad | 59,78 | % |
| Aula de clases F03 Edificio 2 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 92,9 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 607 | Ppm |
| | Temperatura | 22,68 | °C |
| | Humedad | 58,26 | % |
| Pasillos FISEI | Monóxido de Carbono CO | 87,6 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 503,1 | Ppm |
| | Temperatura | 20,61 | °C |
| | Humedad | 55,64 | % |
| Estacionamiento Casa Universitaria | Monóxido de Carbono CO | 92,7 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 686,2 | Ppm |
| | Temperatura | 21,75 | °C |
| | Humedad | 58,16 | % |
| Laboratorio Industrial 2 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 88,3 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 484,4 | Ppm |
| | Temperatura | 21,98 | °C |
| | Humedad | 54,11 | % |
| Aula de clases G03 Edificio 2 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 89,1 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 536,6 | Ppm |
| | Temperatura | 21,67 | °C |
| | Humedad | 59,92 | % |
| | Monóxido de Carbono CO | 92,1 | Ppm |

| | | | |
|-----------------------------|------------------------|-------|-----|
| Pasillos FISEI segundo piso | Dióxido de Carbono CO2 | 457 | Ppm |
| | Temperatura | 21,25 | °C |
| | Humedad | 62,53 | % |
| Parada de Buses | Monóxido de Carbono CO | 141,9 | Ppm |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 590,2 | Ppm |
| | Temperatura | 19,10 | °C |
| | Humedad | 61,17 | % |

Elaborado por el investigador

Esto evidencia que en forma general la calidad del aire en la Universidad Técnica de Ambato en las zonas realizadas las pruebas coinciden con valores aceptables de calidad del aire, como se muestra en la tabla 26 al comparar con las diferentes normativas de cumplimiento.

Tabla 27. Comparaciones con la normativa

| Sitio | Variable | Valor medido | Valor Aceptable | Cumplimiento Normativa |
|---------------------------------|------------------------|--------------|-----------------|------------------------|
| Aula de clases Edificio 1 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 109,9 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 748,6 | Hasta 700 ppm | Regular |
| | Temperatura | 21,78 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 65,33 | 30-50% | Regular |
| Ágora FISEI | Monóxido de Carbono CO | 97,5 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 457,7 | Hasta 700 ppm | Bueno |
| | Temperatura | 20,23 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 65,24 | 30-50% | Regular |
| Biblioteca FDA | Monóxido de Carbono CO | 159,4 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 874,8 | Hasta 700 ppm | No muy bueno |
| | Temperatura | 22,08 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 62,57 | 30-50% | Regular |
| Salida UTA | Monóxido de Carbono CO | 102,6 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 464 | Hasta 700 ppm | Bueno |
| | Temperatura | 20,17 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 59,78 | 30-50% | Regular |
| Aula de clases Edificio 2 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 92,9 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 607 | Hasta 700 ppm | Bueno |

| | | | | |
|------------------------------------|---------------------------|-------|------------------|---------|
| | Temperatura | 22,68 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 58,26 | 30-50% | Regular |
| Pasillos FISEI | Monóxido de Carbono CO | 87,6 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 503,1 | Hasta 700 ppm | Bueno |
| | Temperatura | 20,61 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 55,64 | 30-50% | Bueno |
| Estacionamiento UTA | Monóxido de Carbono CO | 92,7 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 686,2 | Hasta 700 ppm | Regular |
| | Temperatura | 21,75 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 58,16 | 30-50% | Regular |
| Laboratorio Edificio 2 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 88,3 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 484,4 | Hasta 700 ppm | Bueno |
| | Temperatura | 21,98 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 54,11 | 30-50% | Bueno |
| Aula de clases Edificio 2 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 89,1 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 536,6 | Hasta 700 ppm | Bueno |
| | Temperatura | 21,67 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 59,92 | 30-50% | Regular |
| Aula de clases Edificio 2 FISEI | Monóxido de Carbono CO | 92,1 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 457 | Hasta 700 ppm | Bueno |
| | Temperatura | 21,25 | 20-24°C | Bueno |
| | Humedad | 62,53 | 30-50% | Regular |
| Parada de Buses | Monóxido de Carbono CO | 141,9 | Hasta 300 ppm | Bueno |
| | Dióxido de Carbono CO2 | 590,2 | Hasta 700 ppm | Bueno |
| | Temperatura | 19,10 | 20-24°C | Regular |
| | Humedad | 61,17 | 30-50% | Regular |

Elaborado por: el investigador

Anexo 9: Medición en interiores

En el anexo 9 se presenta el prototipo realizando mediciones en interiores.



Figura 76. Pruebas de monitoreo en el laboratorio industrial 2



Figura 77. Mediciones realizadas dentro del aula F02



Figura 78. Mediciones Pasillos FISEI Segundo piso

Anexo 10: Medición en exteriores

En el anexo 2 se muestran las mediciones realizadas en exteriores, el ágora de la FISEI y la salida principal de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 79. Mediciones realizadas en el ágora de la FISEI



Figura 80. Mediciones realizadas en la puerta principal de la Universidad Técnica de Ambato.