



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO Y
CONTROL DE LA CALIDAD DE AIRE, EN AMBIENTES CERRADOS,
USANDO IOT CON RED DE SENSORES ELECTROQUÍMICOS.**

AUTOR: OÑA LEYME, LIZBETH PAOLA

DIRECTOR: ING. TRIVIÑO CEPEDA, ROBERTO DANIEL MSc

SANGOLQUÍ

2020



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE AIRE, EN AMBIENTES CERRADOS, USANDO IOT CON RED DE SENSORES ELECTROQUÍMICOS.**", fue realizado por la señorita **Oña Leyme Lizbeth Paola** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de enero de 2020

Ing. Triviño Cepeda, Roberto Daniel Msc.

C.C: 1712197522



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LIZBETH PAOLA OÑA LEYME**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE AIRE, EN AMBIENTES CERRADOS, USANDO IOT CON RED DE SENSORES ELECTROQUÍMICOS."**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 17 de enero de 2020

Lizbeth Paola Oña Leyme

C.C: 1724687817



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **LIZBETH PAOLA OÑA LEYME** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE AIRE, EN AMBIENTES CERRADOS, USANDO IOT CON RED DE SENSORES ELECTROQUÍMICOS."**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 17 de enero de 2020

Lizbeth Paola Oña Leyme

C.C: 1724687817

DEDICATORIA

A mis padres, a mi madre Gloria que desde el cielo sé que me cuida, ella que me alentaba cuando quería declinar, ella que confió en mí, ella que quiso acompañarme siempre, pero que sólo Dios sabe porque se la llevó tan pronto, a mi padre Carlos que, a pesar de su carácter duro y poco expresivo, sé que siempre está pendiente de mí.

A mi esposo Iván que siempre confió en mí, que siempre me da ánimos y me ayuda en todo, a ese hombre al cual amo infinitamente por llegar a mi vida a cambiarla y enseñarme cosas nuevas, ese hombre que hace de mí alguien mejor y al cual siempre agradezco de su presencia.

A mi hijo Arturo, que ha aguantado tiempo sin mí, pero que cuando lo veo mi corazón se alegra y al cual quiero cuidarlo y llenarlo de besos siempre.

A mis abuelitos Augusto y Conchita que siempre me quisieron de manera inimaginable, y además me ayudaron cuando los necesité.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme culminar esta etapa con salud y vida.

A mis padres que trabajaron duro por darme un futuro mejor, por brindarme cosas diferentes y por enseñarme a ser y pensar diferente.

A mi esposo por todo el tiempo, amor y paciencia que me ha brindado estos años.

A mi hermana que, aunque un poco distante, siempre supo escucharme y ayudarme después de la partida de mi madre.

A mi tutor del proyecto de titulación, que confió y me dio la oportunidad de poder aprender, descubrir e investigar nuevos temas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iviii
RESUMEN.....	viiix
ABSTRACT	ix
 CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e Importancia	5
1.3. Alcance del Proyecto	7
1.4. Objetivos.....	10
1.5. Descripción General del Proyecto.....	11
 CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	12
2.1. Contaminación.....	12
2.2. Gases Contaminantes.....	13
2.2.1. Monóxido de Carbono	15
2.2.2. Dióxido de Carbono.....	15
2.2.3. Formaldehido.....	16

2.2.4. Materia Particulada Respirable (RPM)	17
2.3. Calidad de Aire	18
2.3.1. Calidad de Aire Exterior	19
2.3.2. Calidad de Aire Interior	19
2.4. Normas de Calidad de Aire	20
2.4.1. Notas técnicas de prevención del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)	20
2.4.2. Normativa RITE / UNE – 171330	21
2.4.3. Sistemas de Gestión Ambiental	21
2.5. Técnicas de Purificación del Aire	22
2.5.1. Irradiación	23
2.5.2. Iones	24
2.5.3. Filtros	25
2.5.4. Carbón activado	26
2.5.5. Biorremediación	26
2.6. Plantas Biopurificadoras	29
2.6.1. Tipos de plantas biopurificadoras	30
2.7. Sensores Ambientales	31
2.7.1. Sensores Electroquímicos	31
2.7.2. Tipos de Sensores Electroquímicos	32
2.7.3. Varios	34
2.8. Redes Inalámbricas de Sensores	35
2.9. Internet de las cosas (IoT)	36
2.9.1. Aplicación IoT	37
2.9.2. Arquitecturas de IoT	38
2.9.3. Protocolos de IoT	40
2.9.4. Tecnologías de IoT	41
CAPÍTULO III	
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	43

3.1. Requerimientos de Diseño	45
3.1.1. Descripción de Hardware	45
3.1.2. Descripción de Software	50
3.2. Selección y Caracterización de los sensores	52
3.2.1. Sensores de gas tipo MOS	53
3.2.2. Sensor de Partículas de Polvo.....	66
3.2.3. Sensor de Temperatura y Humedad	70
3.3. Calibración de los Sensores	73
3.3.1. Calibración por software.....	74
3.3.2. Calibración por comparación.....	82
3.3.3. Calibración por Bombona de gas.....	86
3.4. Diseño e implementación de una cámara de captación de oxígeno y dióxido de carbono.....	95
3.4.1. Metodología a utilizarse.....	94
3.4.2. Dimensiones.....	96
3.4.3. Ubicación de los Sensores.....	97
3.4.4. Ambiente de prueba y monitoreo.....	97
3.5. Análisis del monitoreo de las Plantas (justificación de su uso).....	99
3.5.1. Prueba 1: Prueba con la cámara vacía herméticamente y una vela encendida	99
3.5.2. Prueba 2: Prueba con la cámara vacía herméticamente	101
3.5.3. Prueba 3: Prueba de monitoreo con 3 tipos de plantas.....	104
3.6. Diseño de Hardware	107
3.6.1. Módulos de Sensores de gas.....	107
3.7. Diseño de Software	109
3.7.1. Diseño de Arduino IDE.....	109
3.7.2. Diseño de la Base de Datos	111
3.7.3. Diseño aplicación Web	114
3.4. Implementación del Sistema de Monitoreo	118
3.5. Protocolo de Pruebas.....	118
3.5.1. Pruebas 1: Adquisición de datos de los sensores.	120
3.5.2. Prueba 2: Verificar conectividad	121

3.5.3. Prueba 3: Almacenado en la Base de Datos.	122
3.5.4. Prueba 4: Monitoreo en ambientes interiores bajo condiciones controladas	123
3.5.5. Prueba 5: Monitoreo en ambientes interiores en escenario de prueba.	124
3.5.6. Prueba 6: Descarga de datos monitoreados.	125

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS	126
4.1. Análisis de los resultados Prueba 1: Adquisición de datos de los sensores.	128
4.2. Análisis de los resultados Prueba 2: Verificar conectividad.	132
4.3. Análisis de los resultados Prueba 3: Almacenado en la Base de Datos.	137
4.4. Análisis de los resultados Prueba 4: Monitoreo en ambientes interiores bajo condiciones controladas.	138
4.5. Análisis de los resultados Prueba 5: Monitoreo en ambientes interiores en escenario de prueba.	142
4.6. Análisis de los resultados Prueba 6: Descarga de datos monitoreados.	149

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	152
5.1. Conclusiones	152
5.2. Recomendaciones	155
BIBLIOGRAFÍA	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Conversiones de PPM a %.....	14
Tabla 2	Valores Referenciales de calidad de aire interior para diferentes contaminantes.....	15
Tabla 3	Concentraciones de Formaldehido y sus efectos.....	17
Tabla 4	Proceso de formación de la materia particulada.....	17
Tabla 5	Composición de las partículas PM2.5 y PM10.....	18
Tabla 6	Estudios de plantas biopurificadoras.....	27
Tabla 7	Plantas biopurificadoras; características de purificación y necesidades.....	30
Tabla 8	Clasificación de Sensores.....	32
Tabla 9	Aplicaciones de sensores químicos MOS.....	33
Tabla 10	Fabricantes de sensores electroquímicos a nivel mundial.....	34
Tabla 11	Arquitectura IoT de cuatro capas.....	37
Tabla 12	Relación de arquitecturas IoT con el modelo OSI.....	38
Tabla 13	Protocolos de IoT a nivel doméstico e industrial.....	39
Tabla 14	Requerimientos para la Unidad de Alimentación.....	455
Tabla 15	Requerimientos para la Unidad de Procesamiento.....	46
Tabla 16	Contaminantes frecuentes en ambientes interiores.....	47
Tabla 17	Requerimiento para los sensores de gases y contaminantes.....	47
Tabla 18	Requerimiento para los sensores de Temperatura y Humedad.....	47
Tabla 19	Requerimientos del módulo de comunicación.....	48
Tabla 20	Requerimientos mínimos de Gateway.....	48
Tabla 21	Requerimientos funcionales de la tarjeta de desarrollo.....	50
Tabla 22	Requerimientos funcionales de la base de datos.....	50
Tabla 23	Requisitos funcionales de la aplicación web.....	50
Tabla 24	Requisitos no funcionales.....	51
Tabla 25	Sensores sensibles a los diferentes gases.....	52
Tabla 26	Comparación sensores de CO2.....	53
Tabla 27	Especificaciones Técnicas Sensor MG811.....	54
Tabla 28	Comparación sensores de CO.....	57

Tabla 29. Especificaciones Técnicas Sensor MQ7.....	58
Tabla 30. Comparación sensores de Formaldehido.....	60
Tabla 31. Especificaciones Técnicas sensor MS1100.....	61
Tabla 32. Comparación sensores de O2.....	63
Tabla 33. Especificaciones Técnicas sensor Me2-O2.....	64
Tabla 34. Comparación sensores de particulado de polvo.....	66
Tabla 35. Especificaciones Técnicas sensor Sharp GP2Y1014AU0F.....	67
Tabla 36. Comparación sensores de temperatura y humedad.....	70
Tabla 37. Especificaciones Técnicas sensor DHT22.....	71
Tabla 38. Porcentaje de error de lectura del sensor dht22.....	85
Tabla 39. Características de equipo implementado.....	85
Tabla 40. Porcentaje de error de lectura del sensor ME-02.....	89
Tabla 41. Porcentaje de error de lectura del sensor MG811.....	92
Tabla 42. Porcentaje de error de lectura del sensor MQ7.....	93
Tabla 43. Materiales usados en cámaras de concentración.....	95
Tabla 44. Parámetros de la cámara de concentración de CO2 y O2.....	96
Tabla 45. Plantas biopurificadoras: características de purificación y necesidades.....	102
Tabla 46. Valores promedio de respiración de las plantas.....	104
Tabla 47. Estimación de número de plantas según el área.....	105
Tabla 48. Definición de pines para tarjeta ESP32.....	106
Tabla 49. Detalle de la tabla alertas.....	111
Tabla 50. Detalle de la tabla lugar_lectura.....	111
Tabla 51. Detalle de la tabla nodos.....	111
Tabla 52. Detalle de la tabla usuario.....	112
Tabla 53. Detalle de la tabla tabla_sensor.....	112
Tabla 54. Registro de los picos detectados a diferentes distancias por los sensores.....	136
Tabla 55. Mediana de los valores obtenidos.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fuentes de contaminación en los edificios: VOC, CO, CO ₂ , NO ₂ , etc.	13
Figura 2. Partes de un filtro HEPA.	25
Figura 3. Proceso de respiración de una planta.	27
Figura 4. Topologías comunes de redes de sensores inalámbricos.	35
Figura 5. Concepto de IoT.	36
Figura 6. Niveles de aplicaciones IoT.	37
Figura 7. Diagrama general del proyecto de investigación.	43
Figura 8. Diagrama de Bloques del Sistema.	44
Figura 9. Sensor MG811	54
Figura 10. Circuito básico de acondicionamiento de la señal del sensor MG 811.	55
Figura 11. Conexión de prueba para el sensor de CO ₂	55
Figura 12. Gráfica de respuesta del sensor de CO ₂	55
Figura 13. Sensor MQ7.	57
Figura 14. Conexión de prueba para el sensor de CO.	58
Figura 15. Gráfica de respuesta del sensor de CO.	59
Figura 16. Sensor MS1100.	61
Figura 17. Conexión de prueba para el sensor de Formaldehído.	61
Figura 18. Gráfica de respuesta del sensor de Formaldehído.	62
Figura 19. Sensor de Oxígeno.	63
Figura 20. Conexión de prueba para el sensor de O ₂	64
Figura 21. Gráfica de respuesta del sensor de Oxígeno.	65
Figura 22. Sensor de polvo Sharp GP2Y1014AU0F.	67
Figura 23. Conexión de prueba para el sensor de polvo.	68
Figura 24. Gráfica de respuesta del sensor de polvo.	68
Figura 25. Sensor de temperatura y humedad DHT22.	70
Figura 26. Conexión de prueba para el sensor de temperatura y humedad.	71
Figura 27. Gráfica de respuesta del sensor de temperatura y humedad.	72
Figura 28. Curva del Datasheet CO ₂	73

Figura 29. Curva del CO ₂ con su ecuación.....	74
Figura 30. Código de Calibración para CO ₂	76
Figura 31. Curva del datasheet CO.	76
Figura 32. Curva del CO con su ecuación.....	77
Figura 33. Curva del datasheet CH ₂ O	79
Figura 34. Curva del CH ₂ O con su ecuación.....	80
Figura 35. Comparación Temperatura Inicial.	82
Figura 36. Comparación Humedad Inicial.	83
Figura 37. Temperatura Calibrada.	84
Figura 38. Humedad Calibrada.	85
Figura 39. Diagrama general del proceso de calibración.....	86
Figura 40. Bombona de Aire Cero	87
Figura 41. Colocación correcta de la capucha con el sensor.....	87
Figura 42. Resultados Oxígeno sin calibrar vs calibrado en 20.89%.....	88
Figura 43. Dióxido de Carbono en 0 ppm.....	89
Figura 44. Monóxido de Carbono en 0 ppm.	90
Figura 45. Bombona de gas inerte CO ₂ a 1000ppm (izq.), bombona de gas CO a 100ppm (drcha.)	91
Figura 46. Oxígeno en porcentaje 0.	91
Figura 47. Dióxido de Carbono en 1000ppm.....	92
Figura 48. Monóxido de Carbono a 100ppm.	93
Figura 49. Prototipo de la cámara de CO ₂ y O ₂	98
Figura 50. Prueba 1.	99
Figura 51. Prueba 2.	100
Figura 52. Comparación de Oxígeno.	103
Figura 53. Comparación de Temperatura.....	103
Figura 54. Comparación de CO ₂	104
Figura 55. Comparación de Humedad.	104
Figura 56. Diagrama de bloques general.....	106
Figura 57. Conexión de los sensores a la tarjeta concentradora.	107

Figura 58. Diagrama de flujo, módulo Wi-Fi.	109
Figura 59. Diagrama de entidad relación de la base de datos.	110
Figura 60. Diagrama de flujo de la aplicación Web.....	114
Figura 61. Storyboard de la aplicación web.....	116
Figura 62. Prototipo de la carcasa del Sistema a) Vista completa b) Frontal c) Lateral derecha d) Posterior.....	117
Figura 63. Distribución del área para pruebas.	118
Figura 64. Diagrama de conexión para prueba 1.	120
Figura 65. Diagrama para prueba 2.....	121
Figura 66. Diagrama para prueba 3.....	122
Figura 67. Diagrama prueba 4.....	123
Figura 68. Diagrama de prueba 5.....	124
Figura 69. Diagrama prueba 6.....	125
Figura 70. Diagrama de red.....	126
Figura 71. Dispositivo implementado.....	127
Figura 72. PCB sensor de Polvo, Sistema interno.	127
Figura 73. Aplicación Web página de análisis por prueba.....	127
Figura 74. Monitor Serial Arduino IDE.....	128
Figura 75. Variación de temperatura y polvo.....	129
Figura 76. Variación de oxígeno y formaldehído.	130
Figura 77. IP asignada para el nodo.	131
Figura 78. PING hacia el nodo.....	132
Figura 79. PING hacia el servidor.....	133
Figura 80. TRACERT hacia el servidor.....	133
Figura 81. Método GET en wireshark.....	134
Figura 82. Características del paquete.	135
Figura 83. Solicitud y respuesta del paquete.....	135
Figura 84. Captura del Serial vs BD.	136
Figura 85. Comparación de resultados.....	137
Figura 86. Monitoreo bajo condiciones controladas.....	138

Figura 87. Monitoreo bajo condiciones controladas.....	139
Figura 88. Breve análisis y Recomendación del sistema.....	140
Figura 89. Comparación Semanal del gas CO ₂	141
Figura 90. Comparación semanal del gas CO.....	142
Figura 91. Comparación semanal del gas CH ₂ O.....	142
Figura 92. Comparación semanal de temperatura.....	143
Figura 93. Comparación semanal de la humedad.....	143
Figura 94. Cuadro de diálogo para detalles de PValor.....	145
Figura 95. Resultados R Commander.....	146
Figura 96. Resultados R Commander.....	147
Figura 97. Resultados R Commander.....	147
Figura 98. Resultados R Commander.....	148
Figura 99. Análisis de la aplicación web para una prueba.....	149
Figura 100. Análisis del CO de una prueba en la aplicación web.....	149
Figura 101. Gráfica PNG descargada de la aplicación web.....	149
Figura 102. Archivos descargados desde la aplicación web.....	150
Figura 103. Comparación de datos descargados con los datos almacenados en la BD.....	150
Figura 104. Gráfica de los valores descargados mediante el archivo XLS.....	150

RESUMEN

La mayor parte de las personas viven en zonas urbanas, o trabajan diariamente en instalaciones cerradas, donde no cuentan con un correcto sistema de ventilación y tienen como consecuencia un conglomerado de gases nocivos y partículas sólidas, provenientes de las distintas actividades diarias, por ello es que la contaminación del aire puede originar efectos sobre la salud humana y los ecosistemas, desatando a largo plazo problemas respiratorios e incluso cardiovasculares. El objetivo de este trabajo de investigación es el desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire interior usando el estándar 802.11, nodos y sensores. El sistema es capaz identificar la calidad de aire en ambientes cerrados, basado en el monitoreo continuo de las concentraciones de gases como CO₂, CO, CH₂O, O₂, además de partículas de polvo, temperatura y humedad, a través de la información proveniente de una red de sensores, y proveer recomendaciones sobre el uso de plantas biopurificadoras como Dracena, Cintas o Espatifilio, según los niveles de concentraciones de los gases, en el ambiente. La validación del sistema se lo realizó en los laboratorios de Electrónica, donde luego del monitoreo se identificó horarios y días con mayor contaminación, además, se aplicó las recomendaciones del sistema ubicando varias plantas en el sitio de prueba. Finalmente se analizó la calidad de aire, comparando los datos del sitio con plantas y sin plantas identificando que la influencia de las plantas es mínima, pero notoria.

PALABRAS CLAVE:

- **AIRE INTERIOR**
- **GASES TÓXICOS**
- **SISTEMA DE MONITOREO INALÁMBRICO**

ABSTRACT

Most people live in urban areas, or work every day in closed facilities, where they do not have a proper ventilation system and have as a consequence a conglomerate of harmful gases and solid particles, coming from the different daily activities, that is why air pollution can cause effects on human health and ecosystems, unleashing in the long term respiratory and even cardiovascular problems. The objective of this research work is the development of an indoor air quality monitoring system using the 802.11 standard, nodes and sensors. Where the system is able to identify the quality of air in closed environments, based on the continuous monitoring of the concentrations of gases such as CO₂, CO, CH₂O, O₂, as well as dust particles, temperature and humidity, through information from a network of sensors, and provide recommendations on the use of biopurifying plants such as Dracena, Cintas or Espatifilio, depending on the levels of gas concentrations in the environment.

The validation of the system was carried out in the Electronics laboratories, where after the monitoring, hours and days with higher contamination were identified. In addition, the recommendations of the system were applied by locating several plants in the test site.

Finally, the air quality was analyzed, comparing the data from the site with plants and without plants, identifying that the influence of the plants is minimal, but noticeable.

KEYWORDS:

- **INDOOR AIR**
- **TOXIC GASES**
- **WIRELESS MONITORING SYSTEM**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En los últimos 10 años ha existido un importante avance acerca del conocimiento y comprensión de los efectos adversos de la contaminación del aire sobre la salud humana, por lo que se han desarrollado varios trabajos y estudios científicos en todo el mundo. Los resultados han identificado a los más trascendentes mecanismos de acción y contaminantes dispersos en el aire que causan daños en la salud humana. (Fundación Natura, 2009)

Antiguamente, la mayoría de expertos consideraban que, los niveles de contaminación atmosférica que se registraban en las ciudades de los países más desarrollados, no representaban un peligro importante para la salud. Pero en la actualidad, las más importantes agencias encargadas de la protección de la salud y del medio ambiente como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia Europea de Medio Ambiente o la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), reconocen que la inhalación de contaminantes, representa un aumento y riesgo de muerte prematura y morbilidad crónica. (Tenías y Ballester, 2009)

Por este motivo a nivel mundial y nacional cada país ha creado diversas normas, protocolos y estrategias de monitoreo de calidad de aire, pero en su gran mayoría basados en la concentración de contaminantes atmosféricos como Monóxido de Carbono, Óxidos de Azufre, Metales pesados, partículas y aerosoles, en territorios definidos, sin tomar en cuenta que la contaminación del aire en interiores también afecta a la salud. Al estar expuestos a dichos contaminantes, que pueden estar entre 2-5 veces más concentrados en el interior que el exterior, sin que se sepa, provocan el aumento

de enfermedades respiratorias, alergias y la necesidad del uso de purificadores que permitan limpiar el aire concentrado de un ambiente cerrado, pero por otro lado esto aumenta el consumo eléctrico y el uso de materias primas en la fabricación de purificadores, además de generar desechos.

Purificar el aire, cumple con una función principal, que es limpiar el ambiente de agentes nocivos; para conseguirlo de manera eficaz se han planteado varios métodos entre los cuales se encuentran el uso de filtros de aire de alta eficiencia (HEPA), que cumple con tamizar el paso de una cantidad muy alta de micro partículas, como el polen, caspa, ácaros o humo, dentro de este tipo de filtros existen versiones más eficaces que otras, eliminando entre el 85% y el 99,97% de las partículas nocivas y de pequeño tamaño que se encuentran en el aire (Panasonic Latin America, S.A, 2018), muchos de ellos sólidos, pero dejando algunos gases aún presentes.

Por otro lado, para que un ambiente sea saludable se debe mantener la humedad entre el 40% y el 60%, por lo que otra de las alternativas es el uso de humidificadores o deshumidificadores, para mantener un porcentaje de humedad adecuado. Sin embargo, los ambientes húmedos pueden ayudar a la proliferación de mohos y otros microorganismos que pueden ocasionar afecciones o alergias, por otro lado, aquellos ambientes que son demasiado secos son inadecuados para las personas con problemas respiratorios. (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), 2018)

Una opción menos conocida es la aplicación de pintura a base de óxido de titanio transparente, que se aplica sobre los paramentos de cualquier lugar cerrado, que ayuda a purificar y limpiar el aire de los cuartos, eliminando el 95% de los agentes contaminantes. Esta opción funciona mediante un proceso llamado fotocatalisis y solo necesita de la incidencia de radiación ultravioleta sobre la misma para activarse, sin embargo, su costo de adquisición supera los 254,1 euros por frasco de 5

litros (Levenger Nanotecnología, 2016), aspecto que lo vuelve complicado para llevarse a cabo en grandes áreas.

Entre las técnicas de purificación del aire está además el uso de plantas (organismos vegetales), donde cabe mencionar que según estudios realizados por: La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) Clean Air Study y Associated Landscape Contractors of America (ALCA), en 1989, las plantas biopurificadoras tienen la capacidad de desintoxicar el aire ya que son capaces de captar el monóxido de carbono, benceno, formaldehído y xileno componentes que se encuentran en artículos de uso diario. Además, hay que tomar en cuenta que el estudio menciona una variedad de combinaciones entre especies vegetales y su facilidad para conseguirlas.

En la actualidad con el auge de la tecnología, se puede implementar un sin número de aplicaciones para verificar la calidad del aire como: alarmas electrónicas ambientales las cuales puedes ser comparadas con niveles referenciales de normas ambientales internacionales y saber, cuando es el momento adecuado para el uso de purificadores, esto se lo puedo lograr a través de sensores instalados con los que se realiza la captura, almacenamiento y gestión de datos para convertirlos en información, con la cual se pueda tomar decisiones de gran aporte para la purificación del aire.

La relación cada vez más fuerte entre la Internet of Things (IoT) y otras tecnologías emergentes, forma numerosas oportunidades de uso en temas sensibles, como lo es el medio ambiente, donde el objetivo, es desarrollar un conjunto de sensores electroquímicos comerciales para trazar niveles de contaminación interior y poder estar alerta para contrarrestar el efecto de los mismos (Microsoft Latinoamérica, 2018).

Precisamente en este ámbito es donde las firmas tecnológicas buscan dar alternativas a las diversas formas de monitorear el aire a través de sensores en espacios públicos y privados, con el uso de drones para detectar la contaminación del aire en áreas industriales e identificar qué fábricas emiten gases peligrosos y tomar medidas al respecto. Por ejemplo, las autoridades de muchos países europeos están desplegando drones para detectar la contaminación del aire vehicular, industrial y residencial y tomar las medidas necesarias para reducirlos a los niveles estándar. (Fayer Wayer, 2018).

Un ejemplo de desarrollo se implementó en la ciudad de Glasgow-Escocia, donde se instaló una caja con varios sensores de polvo de partículas, que permiten monitorear diversos contaminantes y proporciona el posicionamiento geo referencial, permitiendo que la información que se supervisa por estos sensores se envíe a un cajón máster de sensores, a través del protocolo 802.15.4. Este cajón se compone de un raspberry Pi2, una antena GPS y Zigbee, donde la información se envía vía 3G a la nube de internet y se visualiza en la aplicación de CitySense, que es desarrollada por el Centro de Innovación Escocés para Sistemas de Sensor e Imagen (CENSIS) y basada en la plataforma de Microsoft Azure IoT. (Libelium, 2016)

Aplicaciones como las mencionadas ya han sido replicadas en países como Argentina en el Instituto Universitario Aeronautico por Campoli Marciszack, (2016) “Sistema De Monitoreo De La Calidad Del Aire Integrado A IoT”, y actualmente en la Pontifica Universidad Católica del Ecuador por Cevallos (2013) “Implementación De Sistema De Monitoreo De Gases Contaminantes Que Afectan A La Ciudad De Esmeraldas”, cabe recalcar que dichas réplicas usan el estándar 802.15.4 como sistema de acceso al medio de redes inalámbricas para obtener los datos de monitoreo.

En cuanto a investigaciones y trabajos acerca del monitoreo de calidad de aire en interiores, se encuentran estudios acerca de mediciones con métodos manuales como el uso de tubos Drager, estimando concentraciones de Monóxido de Carbono (Korc y Quiñones, 2013), en viviendas, con diferentes tipos de cocinas, el control de olores en plantas de tratamiento de aguas servidas y la construcción de un sistema de monitoreo y control de calidad de aire en un ambiente cerrado sobre un esquema prototipo. (Llumiyinga y Ubidia, 2008).

Debido a la tendencia actual sobre el monitoreo de calidad de aire y la aplicación de nuevas tecnologías, se plantea este trabajo para el monitoreo y control de la calidad de aire en interiores a través de IoT, usando una red de sensores electroquímicos los cuales pretenden transmitir la información de la calidad del aire en un determinado punto a través de una red inalámbrica hacia Internet, para que sea almacenado en una base de datos y posteriormente, presentar al usuario información gráfica en tiempo real en un sitio web, de donde se presentan alertas en caso de peligro ante un alto nivel de exposición a contaminantes.

1.2. Justificación e Importancia

Se suele pensar que la contaminación ocurre solamente en exteriores, pero el aire dentro de una oficina, laboratorio o ambiente cerrado también puede estar contaminado, a causa de distintas fuentes como: Humo del tabaco, Productos de limpieza, pesticidas, Gases nocivos, y Materiales usados en la construcción, como asbesto, formaldehído y plomo (INSHT, 2013). Estos gases al no ser debidamente ventilados y controlados pueden jugar un papel importante para el desarrollo de enfermedades respiratorias o cuadros sintomáticos que se presentan mucho más tarde en el ser humano como cancerígenos.

Tomando en cuenta que según la European Lung Foundation (ELF) y la European Respiratory Society (ERS), La contaminación del aire interior es el octavo factor de riesgo de enfermedades y se calcula que es responsable del 2,7 % de la carga global de enfermedad, produciendo entre 1,5 y 2 millones de muertes al año relacionadas con la contaminación del aire interior, las enfermedades profesionales del aparato respiratorio son originadas por contaminantes del aire en ambientes cerrados. Por esta razón es ineludible una mayor vigilancia para contrarrestar los riesgos que representan a las personas. (ELF, 2013)

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC,2017), una de las cinco principales causas de morbilidad en el país, son provocadas por enfermedades del sistema respiratorio correspondientes en un promedio al 7.075%, según el número de egresos hospitalarios, esta información se origina de los establecimientos de Red Pública Integral de Salud (RPIS) y Red Complementaria (RC), Sin embargo no se menciona la cantidad que corresponde a contaminación ambiental en espacios cerrados específicamente.

Por lo tanto, asegurar espacios bien ventilados y eliminar los contaminantes puede mejorar la calidad del aire en interiores y prevenir enfermedades; por esta razón la NASA acudió al científico ambiental Bill Wolverton, con el fin de estudiar como organismos vegetales específicos son capaces de mejorar las condiciones ambientales. A partir de aquello, la agencia espacial estadounidense, ha divulgado estudios como “Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement” en el que da a conocer acerca de la capacidad purificadora del aire de algunas plantas en espacios cerrados, por lo que da como resultado un listado de plantas encargadas de limpiar los contaminantes más comunes: benceno, xileno, amoníaco, tricloroetileno y formaldehído (NASA, 1989).

Aunque existen compañías y planes Nacionales de Calidad de Aire en todo el mundo, incluyendo Ecuador (PNCA, 2010), que se dedican a las mediciones de gases nocivos, tienen como desventaja el tiempo de medición y costo elevado, ya que, al realizarse en intervalos muy extensos, no permiten tener un control en tiempo real, además de estar orientados a ambientes exteriores.

La propuesta del proyecto tiene gran importancia ya que se pretende contar con la integración de monitoreo en tiempo real de la calidad del aire interior, además de informar niveles de riesgo. Los mismos que se basarán en valores referenciales de normas internacionales como Una Norma Española-European Norm-International Standardization Organization (UNE-EN-ISO) 13779:2008 donde se toma en cuenta la “Ventilación de Edificios no Residenciales”, hallando en esta norma los niveles máximos y mínimos de contaminación interna, posteriormente en la implementación del proyecto se mantendrá un control de los ambientes, con el fin de precautelar la salud de las personas.

1.3. Alcance del Proyecto

El proyecto de investigación propuesto planea desarrollar una red de sensores para monitoreo en un sitio de prueba de ambiente cerrado (laboratorios del Ingeniería Electrónica), orientado a Internet de las Cosas (IoT), además de aportar y controlar la calidad de aire en ambientes interiores, basado en el monitoreo continuo de niveles de gases como Monóxido de carbono, Oxígeno y otros, a través de una red de sensores electroquímicos que permita monitorear el ambiente identificando la concentración de gases en partes por millón o porcentaje, estos serán ubicados en el sitio de pruebas, conectados a través de una red inalámbrica 802.11 a Internet con el fin de enviar la información a un servidor en la nube, la cual permitirá almacenar y graficar los datos obtenidos, además de controlar, mejorando la calidad de aire a través de la introducción de plantas como

Espatifilo (*Spathiphyllum* sp.), Dracena (*Dracaena Marginata*) y cintas (*Chlorophytum comosum*), para la purificación del ambiente.

Una vez que se logre obtener los datos y generar la línea base de calidad de aire en el sitio de pruebas se verá la posibilidad de implementar una estrategia de reducción y/o compensación de emisiones, por medio del uso de biopurificadores vegetales, es decir, dependiendo de los niveles de concentración de gases identificados, el sistema recomendará el uso de cierto tipo de planta que ayude a la descontaminación del ambiente, de esta forma permitiendo controlar el nivel de contaminación interna al que están expuestas las personas en un lugar determinado.

Posteriormente se podrá comparar gráficamente los datos obtenidos para constatar la eficiencia y el impacto de los cambios realizados, y finalmente se realizará la obtención de los resultados en el sitio de pruebas con y sin plantas para evaluar la mejora de la calidad de aire y la utilidad del sistema.

Para la realización del proyecto de titulación mencionado anteriormente, se apunta consideraciones específicas en cuanto a Software y Hardware, detalladas a continuación.

- Hardware

El sistema estará compuesto de al menos 1 sensor electroquímico, los sensores deberán monitorear: oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, formaldehído, partículas de polvo, temperatura y humedad.

La caja en la cual se construirá deberá ser un material que no emita olores que interfieran en el monitoreo como plástico, vidrio o madera, además de ser liviana y portable.

El sistema debe tener una alimentación de tipo fuente, por motivos de uso constante con el fin de que no se interfiera los lapsos de monitoreo.

Las plantas (vegetales) con las que se realizará las pruebas deberán ser mínimo 2, de diferente fisionomía de la hoja.

- Software

Para la transmisión de datos se deberá usar una plataforma de creación de electrónica de código abierto, para que posteriormente esta pueda ser escalable. Las unidades de medida de los gases monitoreados serán en partes por millón o porcentaje.

Al realizar la aplicación Web se debe considerar seguridad, por lo que se crean usuarios con perfiles de Administrador u operador.

El administrador es la persona que tiene acceso a todo el sistema, mientras que el operador tiene acceso sólo a los módulos definidos por el admin. Tanto administradores como operadores pueden realizar las tomas de muestras y guardarlas.

Se definen cuatro nodos o cajas que pueden estar conectadas al sistema, de las cuales pueden estar activas o inactivas según su uso, con el fin de escalabilidad del sistema. El módulo reportes únicamente le pertenece su visualización al administrador.

En cada nodo se mostrará las tomas realizadas y junto a ellas estará el detalle, que constará de botones y barras informativas de los siete sensores.

El análisis de cada gas estará determinado por una gráfica, y un resultado acerca de los valores promedio medidos, además de un historial y recomendaciones según el nivel en el que se encuentre el gas contaminante.

En las recomendaciones se incluirá el número de plantas a colocar en el área, así mismo como las características y necesidades básicas de cuidado.

Los datos de las gráficas podrán ser descargados de manera gráfica o en archivos con extensiones xls o csv.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Desarrollar un sistema para el monitoreo y control de la calidad de aire, en ambientes cerrados, usando IoT con red de sensores electroquímicos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar el Estado del Arte sobre la calidad de aire, sensores electroquímicos, red de sensores, IoT, y plantas biopurificadoras.
- Caracterizar los sensores electroquímicos y obtener su respuesta eléctrica a los diferentes gases.
- Diseñar e Implementar la red de sensores que permitan obtener datos y enviarlos a la nube.
- Analizar la mejora de la calidad del aire a través del uso de plantas biopurificadoras.
- Implementar el sistema de monitoreo y control.
- Definir el protocolo de pruebas para el sistema.

- Analizar Resultados.

1.5. Descripción General del Proyecto

El presente proyecto de investigación se encuentra organizado de la siguiente manera:

El Capítulo 1, se muestra de forma general la descripción del trabajo de titulación, la importancia, justificación, alcance y objetivos que se pretende cumplir.

El Capítulo 2, se describe el estado del arte para el desarrollo del sistema, iniciando con las definiciones de calidad de aire, e información de los purificadores vegetales y la red de sensores.

En el Capítulo 3, Partiendo de los requerimientos de diseño, se procede a caracterizar los sensores, diseñar e implementar una cámara de captación de oxígeno y dióxido de carbono para el análisis de los diferentes tipos de organismos vegetales (plantas), Además se realiza la implementación del sistema, para dejar planteado los protocolos de pruebas.

En el Capítulo 4, se aplica el protocolo de pruebas sobre el sistema implementado, validando y probando el funcionamiento y obteniendo los resultados.

Finalmente se analizan los resultados obtenidos, se concluye y se realizan recomendaciones sobre el proyecto.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contaminación

Según Santiago Ortega Arango, magíster en Ingeniería de Recursos Hidráulicos se denomina contaminación al ingreso de elementos o sustancias ajenas a un entorno, dando como resultado la afectación del equilibrio del ecosistema. Si a un ambiente interior ingresa poca cantidad de aire exterior los contaminantes se pueden acumular y llegar a niveles que representan un peligro para la salud y la comodidad. (Cumbre Pueblos, 2017)

Los agentes contaminantes pueden ser físicos, químicos o biológicos y perjudican medios como el agua, el suelo o el aire cuando se presentan en concentraciones muy elevadas. Estos compuestos alteran las condiciones de los organismos que habitan en ellos, generando problemas de salud o de seguridad, malestar e incluso la muerte. (Ortega, 2018)

Una sustancia se considera contaminante cuando ejerce un efecto perjudicial sobre animales, plantas o materiales. Estas sustancias se producen de forma natural además de ser también generados por el hombre. La única excepción son los clorofluorocarbonos que tiene únicamente origen antropogénico. (Salcido, Murillo y Flores, 2019)

Los contaminantes atmosféricos se clasifican normalmente en partículas en suspensión (polvo, nieblas, humos) y contaminantes gaseosos (gases y vapores);

- a) Las partículas en suspensión incluyen emisiones de motor diésel, polvos minerales, polvos y humos metálicos, nieblas acidas (ácido sulfúrico), hollín, etc.

- b) Los contaminantes gaseosos incluyen compuestos azufrados (SO_2, SO_3, etc), monóxido de carbono, compuestos nitrogenados (NO, NO_2, etc), compuestos orgánicos (hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, aldehídos), compuestos halogenados, etc. (Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo INSST,2015)

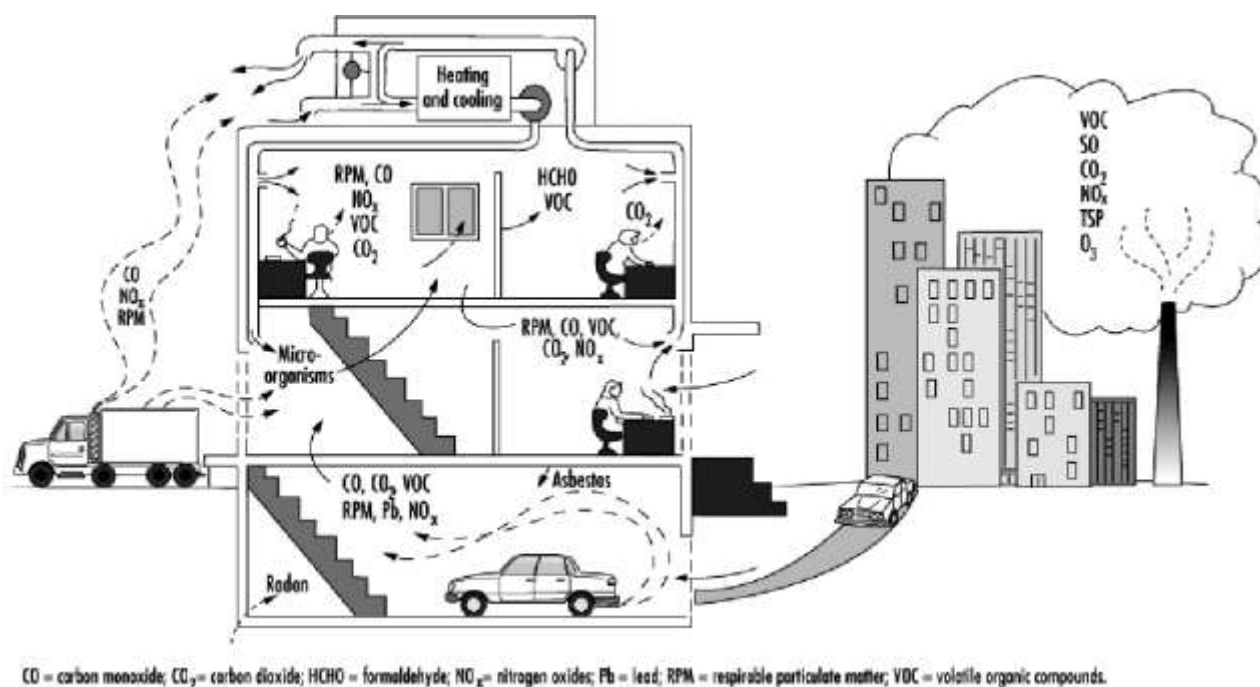


Figura 1 Fuentes de contaminación en los edificios: VOC, CO, CO₂, NO₂, etc...

Fuente: INSST,2015

2.2. Gases Contaminantes

Los gases contaminantes son elementos que al concentrarse en cantidades altas en la atmósfera forman riesgos y contaminación ambiental, al igual que problemas de salud para los seres vivos. Una parte de estos provienen del exterior, pero la mayoría se liberan internamente en el propio edificio, por ejemplo, al quemar combustible para cocinar u originar calor. Los muebles y los

materiales de construcción del mismo modo pueden emitir contaminantes. La humedad y la falta de corrientes de aire pueden aumentar aún más la contaminación del aire interior.

Los contaminantes del aire interior más habituales son: monóxido de carbono, formaldehído, benceno, óxidos de nitrógeno, naftaleno, humo ambiental de tabaco, radón, plomo y plaguicidas organofosforados. (Agencia Internacional de la Energía, 2012)

La concentración de los elementos de un gas es un indicador de la presencia de contaminantes en los humos. Se utilizan como unidad a las PPM (partes por millón) o "un número determinado de partes por millón de partes" representando una relación. (Basantes, Guerra y Telenchana,2019)

La unidad PPM se usa para concentraciones bajas ya que se habla de partes por millón. Por ejemplo, en un millón de granos de maíz, si se dañaran tres, estos representarían 3 PPM. Si están presentes concentraciones mayores, éstas se especifican en porcentaje (%), al referirse a partes por ciento. Por ejemplo, en cien libras de maíz, si se dañaran tres libras, estos representarían un 3 por ciento.

Las PPM se convierten en porcentajes como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Conversiones de PPM a %.

PPM (partes por millón)	% (Porcentaje)
10000	1
1000	0.1
100	0.01
10	0.001
1	0.0001

Una concentración de oxígeno de 21% vol. correspondería a una concentración de 210.000 ppm de O₂. (Testo, 2016).

VALORES MAXIMOS PERMITIDOS

Tabla 2.

Valores Referenciales de calidad de aire interior para diferentes contaminantes

Contaminantes	Valores permitidos	Tiempo
Monóxido de Carbono	18 ppm	8 horas
	180 mg/m ³	
Dióxido de Carbono	500 ppm	8 horas
Materia Particulado Respirable	260ppm	24 horas
	260 ug/m ³	
Formaldehido	0.1 Ppm	30min
	100 ug/m ³	

Fuente. U.S. Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards.

La información contenida de la tabla se debe usar, tomando en cuenta únicamente al aire interior. La exposición a estas concentraciones no debe ser mayor al tiempo determinado, ni se debe repetir en un plazo de 8 horas. (Mata, 2010)

2.2.1. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono cuya fórmula química es CO, es un gas incoloro y altamente tóxico, que provoca intoxicación cuando se inhala en niveles altos, pero los primeros síntomas son notorios en bajas concentraciones, este produce dolores de cabeza, cansancio, irritabilidad e incluso falta de concentración y coordinación.

Este gas se produce cuando se enciende cualquier tipo de combustible como gas natural, gasolina, madera o carbón, generalmente en interiores los generadores de CO son cocinas, sistemas de calefacción y consumo de cigarrillos. (Peng, Chen y Shi, 2018)

2.2.2. Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono cuya fórmula química es CO_2 , es un gas incoloro, que se relaciona con la actividad metabólica humana, y con la respiración en las plantas.

Es un material versátil usado como un gas inerte en soldadura y extinguidores de incendios. Se agrega a bebidas como cerveza y champán, pero es un importante gas de efecto invernadero, ya que al disolverse en el agua forma ácido carbónico.

Los niveles en espacios interiores son un indicador sobre la ventilación que se mantiene el lugar, además este gas en niveles excepcionalmente altos puede provocar dolores de cabeza, somnolencia o bajo rendimiento de actividad. (Subils y Domínguez, 2010)

2.2.3. Formaldehído

El formaldehído es un compuesto químico, que pertenece al grupo de los aldehídos, siendo este el más simple por tal motivo el más utilizado, además de ser un gas inflamable y explosivo. Este compuesto se caracteriza ya que a temperaturas ambiente es un gas incoloro de olor sofocante y fácilmente soluble en el agua. En temperaturas menores a veinte grados centígrados es un líquido transparente e incoloro.

Su uso se da normalmente en forma soluble acuoso (formol), pero también se usa en para la generación de resinas de urea formaldehído, fenólicas, melaninas, entre otros, además del tratamiento de papel y textiles. (Ros Liarte, 2013)

Tabla 3.

Concentraciones de Formaldehído y sus efectos.

Concentraciones	Impacto sobre el ser humano
10-20 ppm	- Dificultad en la respiración. - Inflamación de vías respiratorias. - Tos y quemaduras en la garganta.
10 ppm	- Lagrimeo excesivo.
4-5ppm	- Irritación media de mucosas nasales.
1ppm	- Irritación leve de mucosas nasales. - dolor de cabeza, rinitis.

Fuente: NIOSH (United States National Institute for Occupational Safety and Health)

2.2.4. Materia Particulada Respirable (RPM)

La materia particulada es una composición de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en estado líquido o sólido, suspendidas en el aire. En ambientes cerrados residenciales e industriales, se encuentran generalmente de PM2.5 a PM10 micrones, que son todas las partículas en el aire con conducta aerodinámica similar a una esfera de entre 2.5 y 10 micrómetros de radio. (Cinco, 2014)

Tabla 4.

Proceso de formación de la materia particulada.

	Tipo de partículas	Especificaciones
Proceso de Formación	Finas (\leq PM2.5)	- Condensación de gases. - Precipitación de partículas pequeñas. - Reacción de gases sobre las partículas. - Vaporización de neblina y gotas de agua en las que los gases se han disuelto y reaccionado.
	Gruesas (PM2.5 - PM10)	- Procesos mecánicos (prensado, molienda, abrasión, rompimiento de sólidos/gotas). - Vaporización de aerosoles. - Expulsión de polvos. - Reacción de gases sobre partículas

Tabla 5.*Composición de las partículas PM2.5 y PM10*

	Tipo de partículas	Especificaciones
Composición	Finas (\leq PM2.5)	<ul style="list-style-type: none"> - Sulfato, Nitrato, amonio, iones de hidrógeno. - Carbón elemental. - Compuestos volátiles orgánicos - Metales compuestos de: Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe. - Agua, Virus y Bacterias.
	Gruesas (PM2.5 - PM10)	<ul style="list-style-type: none"> - Nitratos, cloruros, sulfatos de reacciones de HNO₃, HCl y SO₂ con partículas gruesas. - Óxidos de Si, Al, Ti, Fe. - Bacterias, polen, moho, esporas de hongos, detritos de plantas y animales.

Fuente: EPA, U. (2009).

2.3. Calidad de Aire

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), en su publicación denominada control de contaminación ambiental, define a la calidad de aire como la concentración de contaminantes que llega a un receptor desde lugares cercanos o alejados de la fuente de emisión, una vez que haya sido trasladado y disipado por la atmósfera, además de ser una forma de evaluar las condiciones de diferentes sitios. (Spiegel y Maystre, 2012)

Para determinar la calidad del aire se tiene en cuenta varios gases presentes en el ambiente, uno de ellos el dióxido de carbono como gas objetivo, ya que el ser humano inhala este gas incoloro e inodoro que se muestra más activo en proporción directa con la edad y la corpulencia. (Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2015)

2.3.1. Calidad de Aire Exterior

Casi la totalidad del aire (un 97%) se encuentra a menos de 30 km de altura en la atmósfera. La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la tierra y permanece unida al planeta por la gravedad. Entre sus funciones más importantes son: proveer a los seres vivos de gases indispensables para la existencia, formar parte del ciclo hidrológico, servir de protección de los rayos espaciales y distribuir la energía del sol por toda la Tierra. (Romero y Toledano, 2012)

La calidad de aire exterior varía cuando se origina la introducción en la atmósfera, directa o indirectamente, de sustancias o energía que tengan una acción perjudicial de tal naturaleza que sitúe en peligro la salud de los seres vivos, que cause daños a los recursos biológicos y a los ecosistemas, que dañe los bienes materiales o que perjudique las actividades recreativas y otros usos legítimos del medio ambiente.

2.3.2. Calidad de Aire Interior

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), en su publicación denominada calidad del aire interior, hace referencia a ambientes de interior no industriales como: edificios de oficinas, y públicos como colegios, casas de salud, teatros, restaurantes, etc. y viviendas particulares. Las concentraciones de contaminantes en el aire interior de estas áreas suelen ser de la misma magnitud que las encontradas al aire exterior, y mucho menores que en las industrias, donde se usan normas para valorar la calidad del aire. (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares ANSI, 2016)

La calidad de aire de un edificio depende de: la calidad del aire exterior, la presencia de fuentes contaminantes interiores, la compartimentación del edificio, el diseño de ventilación y climatización, además de las condiciones en que estos sistemas trabajan. (Solá, 2012)

La calidad del aire interior empezó a considerarse un inconveniente por su contaminación a finales de 1960, sin embargo, luego de diez años se empezaron los primeros estudios. (Salamanca,2014)

En la actualidad desde el año 2015, existen alrededor de dieciséis mil estudios actuales acerca de la calidad de aire interior, planteados en diferentes zonas, entre ellos estudios de determinación de calidad de aire, contaminación, impacto en la salud, propuestas y sistemas. (Project Gutenberg,2019)

2.4. Normas de Calidad de Aire

2.4.1. Notas técnicas de prevención del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)

Las NTP son guías, donde sus indicaciones son obligatorias sólo si están en una disposición normativa vigente, y donde es conveniente verificar y tomar en cuenta la fecha de edición y publicación.

- NTP 289: Síndrome del edificio enfermo

Describe la metodología para diagnosticar e indagar más acerca de los edificios con problemas de ventilación y proliferación de enfermedades.

- NTP 315: Calidad del aire: gases presentes a bajas concentraciones en ambientes cerrados.

Realiza una revisión de compuestos químicos, y gases que son más detectados en el interior de edificios donde se realizan actividades tanto industriales como de oficinas.

- NTP 431: Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores.
- NTP 521: Calidad de aire interior: emisiones de materiales utilizados en la construcción, decoración y mantenimiento de edificios.
- NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior.
- NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos

Estas notas técnicas orientan sobre la disponibilidad de valores de referencia que puedan ser utilizados como guía para la evaluación de la calidad del aire en ambientes interiores.

2.4.2. Normativa RITE / UNE – 171330

La normativa RITE es parte de la normativa medioambiental para mejorar la calidad de aire en los ambientes interiores de los edificios y luchar contra el cambio climático.

Las normativas UNE son un conjunto de reglas empíricas, y estándares creados por comités técnicos de normalización, entre ellas las más importantes para control de calidad de aire interior tenemos:

UNE 171330-1, Calidad Ambiental en Interiores. Parte 1: Diagnostico de calidad ambiental interior.

UNE 171330-2, Calidad Ambiental en Interiores. Parte 2: Metodología de inspección de calidad ambiental interior.

UNE 171330-3, Calidad Ambiental en Interiores. Parte 3: Sistemas de gestión de los ambientes interiores.

La implantación de la norma UNE-171330 consigue beneficios como:

- Define y establece los criterios exigidos manteniendo condiciones higiénicas y de confort de las personas presentes dentro de un ambiente cerrado.
- Disminuye la posibilidad de surgir riesgos para la salud y la seguridad.
- Disminuye las bajas por enfermedad relativos a la calidad del ambiente.

2.4.3. Sistemas de Gestión Ambiental

ISO – 14001, de tipo formal, es una norma aprobada internacionalmente la cual permite instituir un Sistema de Gestión Medioambiental seguro y útil.

EMAS, de tipo normalizado, Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría esta es promovida por la Unión Europea, los lugares que aplican este reglamento son registradas con el logotipo EMAS, que avala la fiabilidad de la información o producto que proporcionan.

2.5. Técnicas de Purificación del Aire

Una porción importante de la contaminación es procedente de las industrias del sector energético y transporte, en el caso del aire, el problema principal está asociado a la generación de gases de combustión, tanto a la escala urbana como a la global. Los efectos se ven ampliados cuando existen problemas de combustión incompleta (emisión de hidrocarburos) y de mala calidad de combustibles. (Rodríguez, 2009)

Uno de los problemas principales es la emisión de compuestos volátiles, tales como solventes, monómeros, combustibles, hidrocarburos, gases de putrefacción, etc. producidos por fuentes fijas (industrias, plantas de tratamiento, gasolineras, expendios de productos químicos, etc.). Las cantidades de estos compuestos que son emitidas a la atmósfera son menores que las de los gases de combustión, pero el impacto llega a ser alto debido a los efectos tóxicos. (Monteros, 2015)

La ventilación inadecuada puede aumentar los niveles de contaminación en interiores al no transportar suficiente aire del exterior que logre disolver las emisiones originarias de las fuentes internas, y al no expulsar los contaminantes internos del aire fuera del edificio. Las elevadas temperaturas y los niveles de humedad igualmente pueden aumentar las concentraciones de algunos contaminantes.

Existen técnicas destacadas como:

2.5.1. Irradiación

La Irradiación germicida ultravioleta (UVGI) se usa comúnmente para esterilizar el aire que circula por las lámparas ultravioleta UV a través de un aire forzado. Los sistemas UVGI de purificación de aire pueden ser dispositivos autónomos, con lámparas UV revestidas. Estos usan un ventilador para forzar al aire que ya pasó por la luz ultravioleta. Estos además son recomendados para reducir el riesgo de transmisión de la tuberculosis en los centros de salud. Existen subsistemas que son instalados en medios de aire forzados para que la circulación, mueva los microorganismos más allá de las lámparas. La clave de esta forma de esterilización es la colocación de las lámparas UV y el uso de un buen sistema filtración para descartar los microorganismos muertos. (Kowalski, 2010)

Dentro de esta técnica se encuentra también el uso de pintura a base de óxido de titanio, que se aplica sobre paredes y ayuda a purificar y limpiar el aire, eliminando el 95% de los agentes contaminantes. Funciona mediante un proceso llamado fotocatalisis.

Se ha comprobado que la luz UVG produce ozono el cual no es benéfico para la salud de las personas ya que a medida que las lámparas se desgastan comienzan a emitir radiaciones de 315 a 280 nanómetros simultáneamente, por lo que los daños son superiores a la exposición solar. Es necesario que al utilizar luz UVG pasar antes por un sistema de filtrado de aire particulado de alta eficiencia (HEPA). (Villegas, Menéndez y Martínez, 2015)

2.5.2. Iones

Los iones son partículas microscópicas saturadas eléctricamente y que pueden ser de polo positivo o negativo, la armonía ambiental se adquiere con la emisión de millones de iones de carga negativa, ya que las partículas contaminantes sólo tienen signo positivo. Así, una vez los iones negativos se adhieren a los iones de carga positiva se logra la purificación del aire tras precipitarse en conjunto al suelo, con lo que se conoce como una tecnología inofensiva por completo. Pero lamentablemente en cuanto a los iones se comprobó que generan ozono como lo explica la revista cubana de estomatología en su publicación de seguridad durante el tratamiento con ozono, donde indica que pueden dañar la salud de las personas, sin importar si son iones positivos o negativos, tal y como lo explica la Agencia de Protección Ambiental. (EPA por sus siglas en inglés, 2016)

2.5.3. Filtros

La Purificación basado en filtros atrapa partículas aerotransportadas por la exclusión de su tamaño, funcionando de manera que el aire es forzado a través de un filtro y las partículas son físicamente capturadas por el filtro.

Los filtros de aire particulado de alta eficiencia (HEPA), eliminan al menos un 99.97 % de partículas de 0,3 partículas micrómetros y son generalmente más eficaces para partículas que son más grandes o levemente más pequeñas. Estos filtros son activos al 0,01 micrómetro en muchos casos, pero son inactivos para partículas más minúsculas que un micrómetro de 0,01. Los filtros HEPA no generan ozono o subproductos perjudiciales. (Faarvent S.A., 2016)

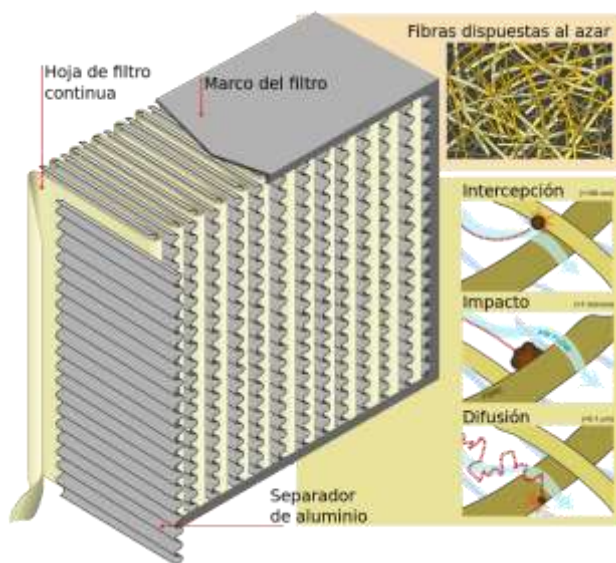


Figura 2. Partes de un filtro HEPA.

Los filtros de ventilación, calefacción y aire acondicionado (HVAC), en MERV (Minimum Efficiency Reporting Value) 14 o más, son los mejores para eliminar partículas aerotransportadas de micrómetros 0,3 o mayores. Un filtro de alta eficiencia MERV 14 tiene un control de captura de por lo menos el 75 % para partículas entre 0,3 a 1,0 micrómetros. Aunque la tasa de captura de un filtro MERV es inferior de un filtro HEPA, un sistema de aire central puede trasladar

significativamente más aire en el mismo periodo de tiempo. Los filtros MERV de mayor eficacia son más pesados y amplifican la firmeza del aire en el sistema central, que demandan una mayor caída de la presión de aire y, en consecuencia, aumenta los costos de energía. (Matela, 2006)

2.5.4. Carbón activado

El carbón activado es un material poroso de carbón que se prepara en la industria para que tenga una elevada superficie interna, que puede absorber sustancias químicas volátiles sobre una base molecular, tanto en fase gaseosa como en disolución, pero no elimina partículas demasiado grandes. El proceso de absorción cuando se usa carbón activado tiene que alcanzar un equilibrio, por lo tanto, pueden ser difícil eliminar totalmente los contaminantes. Este proceso transforma contaminantes de una etapa gaseosa a una etapa sólida, y puede utilizarse a temperatura ambiente, normalmente se utiliza junto con otras técnicas de purificación como el de los filtros. De la misma manera existen otros materiales que también pueden absorber los productos químicos, pero al coste más elevado. (Reinoso y Sabio, 2012)

2.5.5. Biorremediación

La Biorremediación es la utilización de organismos vivos como bacterias, hongos o plantas, para eliminar los contaminantes ambientales, sin embargo, es un proceso lento, que está limitado a ser utilizado en áreas pequeñas. (Vidali, 2011)

La Biorremediación puede ser de tres tipos: Por enzimas, Microbiana o por Fitorremediación.

La fitorremediación hace uso de plantas para limpiar ambientes contaminados, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos.

La fitorremediación frente a otros procesos de descontaminación tiene un bajo costo. (Romero, 2017)

Los organismos vegetales (plantas) además de decorar y establecer un ambiente agradable, la vegetación absorbe Dióxido de carbono (CO_2) y libera oxígeno (O_2), mantiene la temperatura ambiente, limpia el aire de sustancias contaminantes y su capacidad adquisitiva es alta debido a su bajo costo y variedad.

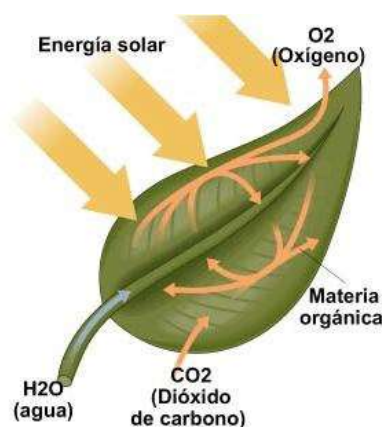


Figura 3. Proceso de respiración de una planta.

Según el documento La Biodepuración Del Aire Con Plantas Purificantes y Ornamentales, Como Alternativa Ambiental En El Siglo XXI, publicado en el 2015, muestra estudios y publicaciones importantes, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Estudios de plantas biopurificadoras.

Autores	Título de la Publicación	Año	Resumen
Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García,	Fitorremediación: Una Alternativa Para Eliminar La Contaminación	2011	En esta investigación se presenta una perspectiva de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos

CONTINUA

Villagómez-Ibarra, & Acevedo-Sandoval					y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas
World Health Organization. Regional Office for Europe	World Health Organization. Regional Office for Europe		2010		Este libro muestra las guías de la WHO para la protección de la salud pública relacionada con los riesgos para la salud que pueden presentar los químicos presentes en el aire de espacios interiores. La guía provee una base científica para la determinación de estándares legales.
Dela Cruz, Christensen, & Müller	Evaluación de la eliminación de compuestos orgánicos volátiles por plantas de interior: una novedosa configuración experimental.		2014		Se basa en estudios de laboratorio que indican que la eliminación de compuestos orgánicos volátiles inducida por plantas es una combinación de mecanismos directos e indirectos, estos estudios fueron realizados en situaciones reales como oficinas. Además, muestran que la tasa de disminución del nivel de compuestos orgánicos volátiles está influenciada por un número de factores tales como las especies de las plantas y la intensidad de luz.
Guo, y otros	Conductas De Salud En Población China		2013		Este estudio valoró los síntomas individuales relacionados con las concentraciones en espacios interiores, de productos químicos, entre los residentes en Dalian, China, donde la contaminación del aire por materiales de decoración de interiores se ha transformado en un importante problema de salud.
Huang, Lee, & Yen,	Diagnóstico Y Control De Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales Y Fracción Respirable Pm10		2015		Este estudio analiza el tamaño del material particulado y su estructura en espacios de interior vs espacios al aire libre, así como en los espacios interiores que contienen alfombras.
Zhou, Yue, Chen, & Xu			2013		Reporte de experimentos realizados con 10 plantas de la familia de las <i>Marantaceae</i> y 10 de las <i>Pteridophytes</i> evaluadas por sus habilidades en la remoción de formaldehído en el aire. Las tasas de purificación más rápidas se encontraron en las especies: <i>C. zebrina</i> , <i>M. punctatum</i> y las más lentas fueron las especies: <i>C. parasiticus</i> , <i>P. ensiformis cv.</i> , <i>Victoriae</i> , <i>N. nidus cv Volulum</i> y <i>C. setosa</i> . 8 Especies de plantas de maceta podrían recomendarse para purificar el aire interior de formaldehído: <i>N. nidus</i> , <i>Calathea rotundifolia</i> , <i>P. cretica cv. Albolineata</i> , <i>C. ornata</i> , <i>P. bifurcatum</i> , <i>N. nidus cv. Volulum</i> , <i>C. roseo-picta</i> , and <i>C. freddy</i> .

CONTINUA

Zhou, Qin, Liao, & Xu	2011	Reporte de experimentos realizados con 30 especies de plantas de las familias: <i>Araceae</i> y <i>Liliaceae</i> en la remoción de formaldehído al interior de cámaras de vidrio. Las plantas con mejor desempeño fueron: <i>Scindapsus aureus</i> , <i>Asparagus setaceus</i> , <i>S. trifasciata cv. Hahnii</i> , <i>C. comosum</i> , <i>A. commutatum cv. White Rajah</i> , <i>A. commutatum cv. Red Narrow</i> , <i>A. commutatum cv. Treubii</i> , <i>S. pictus cv. Argyraeus</i> , <i>G. gracilis</i> and <i>P. sodiroi cv. Wendimbe</i> .
Wang, Pei, & Zhang,	2014	Reporte de experimentos para determinar los diferentes mecanismos presentes en la filtración botánica para la remoción de contaminantes en el aire de interiores. Se utilizaron especies <i>Epipremnum aureum</i> (Golden photos). Se encontró que el aire que fluye a través de la cama de las raíces que contienen microbios es esencial para obtener una significativa eficiencia en la remoción de formaldehído. El papel de la planta consiste en introducir y mantener una comunidad microbiana la cual efectivamente degradó los VOCs.

2.6. Plantas Biopurificadoras

Las plantas suministran alimentos, medicinas, madera, combustible y fibras. Al mismo tiempo, ofrecen refugio a una gran multitud de otros seres vivos, generan oxígeno, conservan los suelos, regulan la humedad en los terrenos, favorecen a la estabilidad del clima. Por esta razón, son indispensables para la vida.

Existe una extraordinaria diversidad de plantas, algunas simples, y otras evolucionadas. Forman parte de todos los ecosistemas, además se han adaptado a diversos climas y condiciones del suelo. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, 1996)

Si bien todas las plantas absorben el dióxido de carbono y liberan oxígeno, algunas además absorben los químicos contaminantes del aire. (Pedraza, 2015)

2.6.1. Tipos de plantas biopurificadoras

La primera lista de plantas de interior que filtran el aire fue anunciada por la NASA en 1989 y contenía más de veinticinco especies distintas que eran utilizadas para limpiar el aire en las estaciones espaciales y se detallan en la tabla 7.

Tabla 7.

Plantas biopurificadoras; características de purificación y necesidades.

Nombre Científico	Características de Purificación	Exigencias
Drácena (Dracaena marginata)	Absorción químicos de pinturas, humo de cigarrillo y gases de los tubos de escape.	Abundante luz y poca agua.
Palma areca o bambú (Dypsis lutescens)	Excelente Humidificador.	Espacios amplios
Gerbera o margarita africana (Gerbera jamesonii)	Removedor de químicos de tintas, pinturas, solventes y humo de cigarrillo.	Abundante luz y agua.
Hiedra común (Hedera helix)	Removedor de alergénicos, sobre todo moho.	Abundante luz y agua.
Helecho (Nephrolepis exaltata ‘Bostoniensis’)	Filtra Químicos de cosméticos y desinfectantes, además de ser humidificador.	Poca luz y abundante agua.
Aglaonema modestum	Absorbente de Químicos	Poca luz y agua.
Orquídea mariposa (Phalaenopsis)	Absorbente de Químicos de bolsas de plástico y tapizados.	Poca luz, Abundante humedad.
Philodendron	Filtra Químicos de cosméticos, productos de limpieza y pegamentos.	Poca luz y agua
Cintas (Chlorophytum comosum)	Removedor de químicos liberados por aparatos que funcionan a gas.	Poca luz y agua
Espatifilio ó Lirio de la paz (Spathiphyllum ‘Mauna Loa’)	Eliminación de esporas de moho, formaldehido y trocloroetileno.	Poca luz, Abundante humedad.
Lengua de tigre (Sansevieria trifasciata ‘Laurentii’)	Absorbente de toxinas de los productos de cuidado personal.	Abundante humedad.
Azalea (Rhododendron simsii)	Filtra químicos de los materiales de construcción como espuma de poliuretano y madera contrachapada.	Ambiente fresco de 15 grados.

CONTINUA

Ficus benjamina	Absorción de químicos como lacas para muebles y alfombras.	Espacios amplios.
Crisantemos (Chrysanthemum morifolium)	Filtran amoniaco, químico que se encuentra en os desechos de origen animal y productos de limpieza.	Espacios amplios.
Aloe vera (Aloe barbadensis)	Aumenta el nivel de oxígeno.	Poca luz y agua.

Fuente: BBC Mundo, 2015

2.7. Sensores Ambientales

Los sensores ambientales permiten la recolección de información de la contaminación de un sitio y las condiciones ambientales de este, estos dispositivos miden partículas de diferentes gases contaminantes, además incorporan sensores de temperatura y humedad. (Cortés, 2013)

2.7.1. Sensores Electroquímicos

Los componentes de un sensor electroquímico son un electrodo de trabajo (que detecta), un contraelectrodo y generalmente también un electrodo de referencia. Estos se encuentran dentro de la carcasa del sensor y en contacto con un líquido electrolítico. El electrodo de trabajo está en la cara interna de una membrana de teflón que es porosa al gas, pero impermeable al líquido electrolítico. El gas se propaga hacia el sensor a través de una membrana hasta llegar al electrodo de trabajo. Cuando el gas alcanza este electrodo, se produce una reacción electroquímica: una oxidación o una reducción, según el tipo de gas. Por ejemplo, el monóxido de carbono se oxida y se forma dióxido de carbono, y el oxígeno puede reducirse a agua. En una reacción por oxidación, se produce un flujo de electrones desde el electrodo de trabajo hacia el contraelectrodo a través del circuito exterior. (Arrieta, Díaz y Fuentes, 2016)

Por otro lado, en una reacción por reducción, el flujo de electrones toma el camino inverso, es decir, desde el contraelectrodo hacia el electrodo de trabajo. Este flujo de electrones produce una

corriente eléctrica proporcional a la concentración de gas. Los componentes electrónicos del instrumento detectan y amplifican esta corriente y clasifican el resultado según la calibración de la unidad. El instrumento muestra entonces la concentración de gas, por ejemplo, en partes por millón (PPM) para los sensores de gases tóxicos y en porcentaje de volumen para los sensores de oxígeno. (Industrial Scientific, 2010)

2.7.2. Tipos de Sensores Electroquímicos

Bajo la denominación de sensores electroquímicos se agrupan cuatro tipos específicos. (Alegret, Del Valle, y Merkoçi, 2008).

En la tabla se detallan los diferentes tipos con su detalle característico.

Tabla 8.

Clasificación de Sensores.

TIPO	DETALLE
Sensores Potenciométricos	Son especialmente los electrodos selectivos de iones. ESIs también conocidos por sus siglas en inglés ISE (Ion Selective Electrodes).
Semiconductores de óxido metálico (MOS)	Se basan en el empleo de un material semiconductor como es el óxido de estaño (SnO ₂), localizado entre dos electrodos y mantenido a temperaturas de 350°C.
Transistores de efecto de campo sensible a iones	También conocidos por sus siglas en Inglés ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor). El origen de la señal también es potenciométrico.
Sensores Amperométricos	En su forma de electrodos modificados químicamente. La modificación de las superficies electroactivas de estos dispositivos con materiales biológicos de reconocimiento molecular son los conocidos biosensores electroquímicos, que son parte de los sensores más avanzados en este tipo.

Los sensores de gas y partículas ofrecen muchas funciones importantes en la medición de la calidad del aire para salud pública y personal, y son de vital importancia en los sistemas de seguridad industrial, como las alarmas de peligro y los controladores de procesos.

Los sensores para medir la calidad del aire también son eficaces para ayudar a reducir los costos de funcionamiento y la huella medioambiental de las oficinas u otros edificios, ya que al medir el impacto que deja una persona sobre el planeta al realizar actividades comunes, se determina la cantidad de emisiones producidas permitiéndoles decidir desde que alimentos comprar, hasta que actividades no realizar con frecuencia en base a la contaminación generada. (Valderrama, 2018)

Tabla 9.

Aplicaciones de sensores químicos MOS

Categoría		Uso
Gases Combustibles	Metano Propano Hidrógeno	Alarma de gases para casas, vehículos y barcas. Detección de gas portable.
Gases Tóxicos	Monóxido de carbono Amoniacó	Detectores de fugas para refrigeradores Detectores de amoniacó para el sector primario.
Alcohol	Etanol Metanol	Etilómetros profesionales.
Vapores Orgánicos	Hidrocarburos Oxigenados Halogenados	Detectores de disolventes para fábricas y construcciones.
CFC	Clorofluorocarbonos	Detectores de CFC para congeladores, aires acondicionados.
Otros	Oxígeno	Detectores de oxígeno. Detectores para el mantenimiento de transformadores y baterías.
Detectores de Fuego	GLP	Sistema de detección de fuego.

Fuente: Brezmes Llecha,2001

2.7.3. Varios

Existen fabricantes de sensores electroquímicos a nivel mundial, pero los más importantes se encuentran en 3 continentes: Europa, América y Asia, tomándolos en cuenta por su número de distribuidores y calidad de productos.

Tabla 10.

Fabricantes de sensores electroquímicos a nivel mundial.

Origen	Fabricante	Descripción
Europa	BlueSens	Especialista en análisis de gases. Enfocado en bioprocesos desde laboratorios hasta escalas industriales.
	Alphasense	Empresa de fabricación y desarrollo de sensores de gas. Fundada en respuesta a la abrumadora demanda de los fabricantes de equipos originales de detección de gases para obtener sensores de gases de mejor calidad.
América	Figaro USA Inc.	Cuenta con una amplia gama de productos de sensores de gases para la detección desde gases explosivos como el propano, gases tóxicos como el monóxido de carbono. Además, cuenta con sensores de calidad del aire para compuestos orgánicos volátiles (COV) que son responsables del síndrome de los edificios enfermos.
Asia	Kuongshun Electronic Company	Proveedor y fabricante de componentes electrónicos, comprometido con el kit de arranque para Arduino, Raspberry PI 3 Modelo B, robot inteligente, impresoras 3D. Cuenta en el campo de la automatización con estándares profesionales y alta tecnología, que se incrementa rápidamente en el campo del comercio exterior. Además, son los principales exportadores de los conocidos sensores MQ.

2.8. Redes Inalámbricas de Sensores

Un sistema de redes inalámbricas de sensores o WSN (en inglés Wireless Sensor Network) es una red con muchos terminales distribuidos espacialmente, que usan sensores para controlar

diversas situaciones en puntos diferentes, entre ellas están la temperatura, el sonido, la vibración, la presión, movimiento o los contaminantes. Los terminales o dispositivos son unidades independientes y autónomos, que constan de un microcontrolador, una fuente de energía (casi siempre una batería), un radio transceptor y un elemento sensor. (Aakvaag, N., & Frey, J. E., 2008).

En la figura 4 se muestra la topología de redes en estrella, donde los nodos inalámbricos se comunican con un dispositivo de puerta de enlace (gateway) que crea un puente de comunicación con una red cableada. Los sensores sólo condicionan el establecer la comunicación punto a punto con los routers y como resultante, pueden seguir siendo sencillos y de baja potencia, al tiempo que se mejora el rango y la redundancia de la propia red.

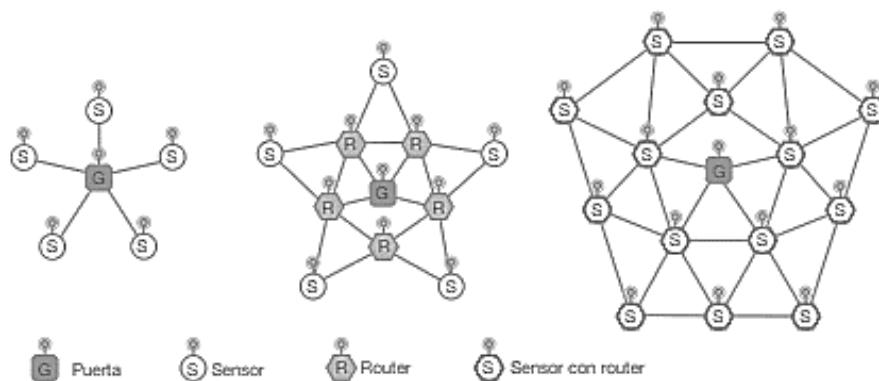


Figura 4. Topologías comunes de redes de sensores inalámbricos.

Fuente: Revista ABB,2.

2.9. Internet de las cosas (IoT)

El Internet de las cosas es una arquitectura emergente fundada en la Internet global que presta facilidades al intercambio de bienes y servicios entre redes de la cadena de suministro y que tiene un impacto importante en la seguridad y la privacidad de los actores involucrados. (Weber, 2010)

El Internet de las cosas puede ser contemplado como una composición de sensores y actuadores que son capaces de proveer y recoger información, además digitaliza y coloca en redes bidireccionales aptas de transmitir todos los datos para ser usados por una gran cantidad de servicios y usuarios finales.



Figura 5. Concepto de IoT.

Al presentarse como una red de objetos físicos (vehículos, máquinas, electrodomésticos y más) que usa sensores e interfaces de programación de aplicaciones para conectarse e intercambiar datos a través de Internet, se ve como una verdadera evolución de la interconectividad con una mejor percepción de la información y con servicios cada vez más completos. (Salazar y Silvestre, 2016)

2.9.1. Aplicación IoT

Las aplicaciones para IoT son infinitas, ya que van desde circuitos sencillos, hasta complejas aplicaciones que posibilitan diseñar y configurar de manera libre los sistemas de controles inteligentes. (Estévez, 2014)

Las aplicaciones desarrolladas sobre IoT, tienen tres niveles: electrónica, comunicaciones y software, en la figura a continuación se detalla cada nivel. (Ubidots,2016)



Figura 6. Niveles de aplicaciones IoT.

Estos tres elementos interactúan entre sí, controlando los sistemas, permitiendo el intercambio de información, análisis de datos, y además facilitando una visualización e interpretación de la información de manera clara y detallada. (Bonilla, Tavizon, Morales, Guajardo y Laines, 2016)

2.9.2. Arquitecturas de IoT

La arquitectura de sistemas de IoT se puede dividir en cuatro capas, detalladas a continuación en la tabla 9.

Tabla 11.

Arquitectura IoT de cuatro capas.

Capa	Detalle.
Detección	Sensores, los objetos físicos y la obtención de datos.
Intercambio de Datos	Transmisión de datos a través de redes de comunicación.
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.
Servicio de Aplicación	Presta servicios de contenido a los usuarios.

- **Relación con el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI)**

El modelo de red OSI facilita la ejecución de una comunicación al separarla en siete capas que ayudan a entender las comunicaciones IoT, además de los estándares relacionados. El modelo de red OSI, constituye un conjunto ordenado lógicamente de subsistemas.

Tabla 12.

Relación de arquitecturas IoT con el modelo OSI.



Capas Modelo OSI	Detalle	IOT
7.Aplicación	Enlace entre una aplicación y el software de red.	Protocolos de mensajería: CoAP, MQTT, XMPP, AMPQP y HTTP.
6.Presentación	Traducción de los datos, para ser utilizados por la capa de aplicación.	Protocolos criptográficos Transport Layer Security (TLS)
5.Sesión	Iniciación, administración y finalización de las conexiones entre aplicaciones locales y remotas.	Sesiones de red entre procesos en varias estaciones de red. Computadoras.
4.Transporte	Transmisión de datos de extremo a extremo.	TCP/UDP, DTLS
3.Red	Definición de protocolos de enrutamiento para transportar paquetes de datos entre nodos distintos.	IPV4 / IPV6 / IP Routing
2.Enlace de Datos	Transmisión de datos entre dos nodos conectados directamente en una red.	Estándares IEEE 802 son básicos para las comunicaciones IoT en esta capa (IEEE 802.15.4 o PAN inalámbrico, ZigBee, ISA100.11a y Thread) .
1.Física	Señal y transmisión binaria	Estructura física esencial para hacer posible el IoT: cables, enlaces de radiofrecuencia, topologías de red, protocolos de comunicación, hardware en un dispositivo y nivel de datos.

2.9.3. Protocolos de IoT

Los Protocolos de IoT se definen como una convención que controla o permite la conexión, comunicación, y transferencia de datos entre dos puntos finales, los protocolos mencionados a continuación tienen la capacidad de conectar dispositivos con plataformas IoT, destacándolos a nivel doméstico e industrial. (Porro, 2019)

Tabla 13.

Protocolos de IoT a nivel doméstico e industrial.

Nivel Domésticos		Nivel Industrial	
			
Protocolo	Detalle	Protocolo	Detalle
Alljoyn	Es un estándar de código abierto, que facilita la comunicación entre dispositivos y aplicaciones, para todo tipo de protocolos de la capa de transporte.	AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)	Es un protocolo de tipo publicar/suscribir que proviene del sector de servicios financieros. Tiene su presencia en TIC, pero bastante limitada en la industria. (Semle, 2016)
HomePlug y HomeGrid	Son protocolos que realizan la comunicación por la red eléctrica. Dependiendo el producto, el tipo de cifrado es distinto, e incluso se llega a transmitir la información sin cifrar.	CoAP (Constrained Application Protocol o protocolo de aplicación restringida)	Es un protocolo similar a HTTP, pero usa UDP/multicast en lugar de TCP, reduciendo el tamaño de cada requerimiento, además de utilizar DTLS (Datagram Transport Layer Security), que emplea seguridad en la capa de transporte para proteger las comunicaciones.
MFi (Made For iPhone/iPod/iPad)	Es un protocolo de comunicaciones propio de Apple creado para interactuar con estos dispositivos. Cada elemento incorpora un chip que verifica que los dispositivos, y cables de conexión son originales.	DDS (Data Distribution Service o servicio de distribución de datos)	Es un protocolo publicar/suscribir que se basa en el borde de la comunicación en la red. A diferencia de MQTT, que requiere de un agente centralizado, DDS está descentralizado. Los nodos de DDS se comunican directamente punto a punto a través de UDP/multidifusión (multicast).

CONTINUA

OCF (Open Connectivity Foundation)	Es un protocolo impulsado por Samsung, Intel, Microsoft, Qualcomm, Electrolux. Es un proyecto de código abierto que brinda interconectividad. Este protocolo procura garantizar la interoperabilidad de millones de dispositivos, mediante una implementación de referencia (IoTivity) y un programa de certificación.	HTTP (REST/JSON) Hypertext Transfer Protocol o protocolo de transferencia de hipertexto)	Es un protocolo cliente/servidor sin conexión ubicuo en TIC y en la web. Se usa HTTP para enviar grandes cantidades de información, como lecturas de temperatura minuto a minuto cada hora. Además, puede operar por debajo el segundo, pero se toma en cuenta que las actualizaciones de cien milisegundos (100 ms) con HTTP son difíciles.
Thread (network protocol)	Es un protocolo basado en las comunicaciones por red a través de IPv6 que utiliza cifrado AES, razón por la cual es muy seguro.	MQTT (Message Queuing Telemetry Transport o de mensajes y telemetría transporte)	Es un protocolo publicar/suscribir diseñado para Sistemas SCADA (acrónimo de Supervisor y Control And Data Acquisition) y redes remotas. Se basa en un mínimo encabezado y comunicaciones confiables. La carga MQTT es determinada para la aplicación, y en general las implementaciones usan un formato JSON (JavaScript Object Notation) personalizado o binario.
		OPC UA (Unified Architecture o arquitectura unificada)	Es un protocolo cliente/servidor. Los clientes se conectan, navegan, leen y escriben al equipamiento industrial. UA define la comunicación desde la aplicación hacia la capa de transporte. Además, usa mensajes bidireccionales firmados y encriptación de transporte.

2.9.4. Tecnologías de IoT

El IoT depende de una gran cantidad de tecnologías subyacentes, como las interfaces de programación de aplicaciones API que conectan los dispositivos a Internet.

Otras tecnologías clave principales de comunicación utilizadas de IoT son;

- RFID: Radio Frequency Identification

- WSN: Wireless Sensor Network
- NFC: Near Field Communication
- WiFi: estándar IEEE 802.11 a-n
- Bluetooth
- 4G: Red de telefonía móvil
- LTE: Long Term Evolution
- ZigBee: estándar IEEE 802.15.4
- Wi-Fi HaLow: estándar IEEE 802.11ah
- Z-Wave
- Sigfox (LPWAN): Low Power Wide Area Network
- LoraWAN (LPWAN): Low Power Wide Area Network

Actualmente se están utilizando diferentes tecnologías de comunicaciones, variando según la aplicación y las exigencias de alcance, el volumen de datos, seguridad, consumo de energía, vida útil de la batería, etc. (Eterovic, Cipriano, y Nicolet, 2018).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

La contaminación ambiental y en concentraciones altas da como resultado riesgos en la salud de los seres vivos, por lo que se ve necesario implementar un sistema de monitoreo del aire, para lugares cerrados como aulas, oficinas, bodegas, etc., ya que según la Agencia Internacional de la Energía (2012) y el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología de Cuba (2016) indican en sus estudios que los contaminantes del aire interior más habituales son: monóxido de carbono, formaldehído, benceno, óxidos de nitrógeno, humo de tabaco, radón. De los cuales se define su monitoreo debido a que:

Monóxido de Carbono, es el gas responsable de 125 muertes anuales por intoxicación según el INEC (2013).

Dióxido de Carbono, contaminante emitido por la actividad metabólica de los seres humanos, gran indicador de calidad de aire y responsable de la asfixia por desplazamiento del oxígeno en áreas cerradas. (INSST,2018)

Formaldehído, gas inflamable y explosivo más común en artículos de aseo y hogar. La exposición a altos niveles puede producir ciertos tipos de cáncer. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR), 2015)

Oxígeno, Gas monitoreado para verificar la restauración del ambiente por la inserción de plantas, en un lugar afectado por gases contaminantes.

Partículas de Polvo, Principal responsable de afecciones al tracto respiratorio y alergias. (Rodríguez, Castro, Penón, Ramírez y Vargas, 2015)

Temperatura y Humedad, Factores de monitoreo constante por disposición de que en el interior de un edificio debe haber un microclima agradable y adecuado para el organismo humano y el tipo de actividad desarrollada. (Fonseca,2014)

Considerando lo anterior, en este capítulo se presenta el diseño e implementación del sistema de monitoreo de calidad de aire en ambientes interiores; el mismo que tiene un bloque de medición que es el que recoge información acerca de las concentraciones de gases nocivos del ambiente a través de los sensores y otro de alerta al usuario que advierte de cantidad altas de contaminantes presentes en un área. Además, realizan el envío de los datos a través de un módulo de comunicación inalámbrica hacia un servidor Web, y que pueden ser visualizados en una aplicación Web, usando gráficas que representan los valores obtenidos, el nivel de peligrosidad de los contaminantes, y su respectiva recomendación. El diagrama general del proyecto se muestra en la figura 7.

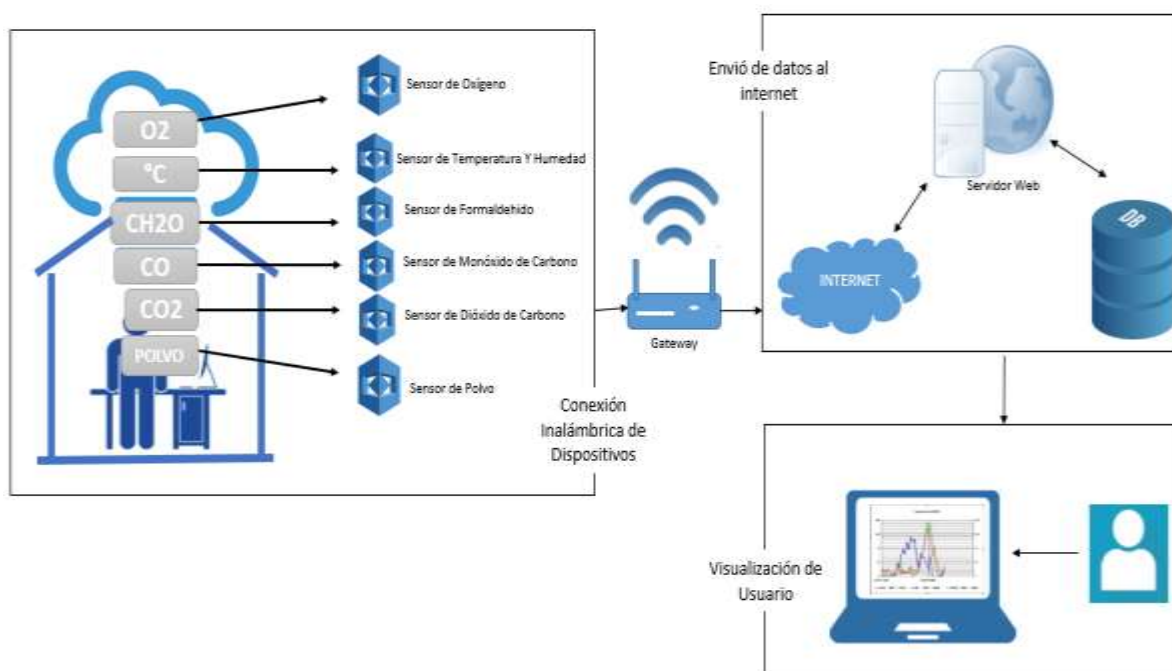


Figura 7. Diagrama general del proyecto de investigación.

3.1.Requerimientos de Diseño

Para un diseño adecuado del sistema, los requerimientos de hardware y software mínimos necesarios para el funcionamiento del proyecto deben ser definidos, entre ellos, se determinan los requerimientos del prototipo tanto a nivel lógico y físico. El sistema está formado por un dispositivo de sensado de gases tóxicos, donde incluye sensores de Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Oxígeno, Partículas de polvo, Temperatura, Humedad, y Formaldehido, una aplicación web, un servidor y una base de datos.

3.1.1. Descripción de Hardware

En lo que respecta al hardware, se realiza la implementación de dispositivos de monitoreo de gases, el mismo que posee sensores de temperatura, humedad, dióxido de carbono, monóxido de carbono, formaldehido, oxígeno y partículas de polvo. En el diagrama de bloques de la figura 8 se observan las etapas de monitoreo, comunicación, procesamiento, y alimentación de los circuitos.

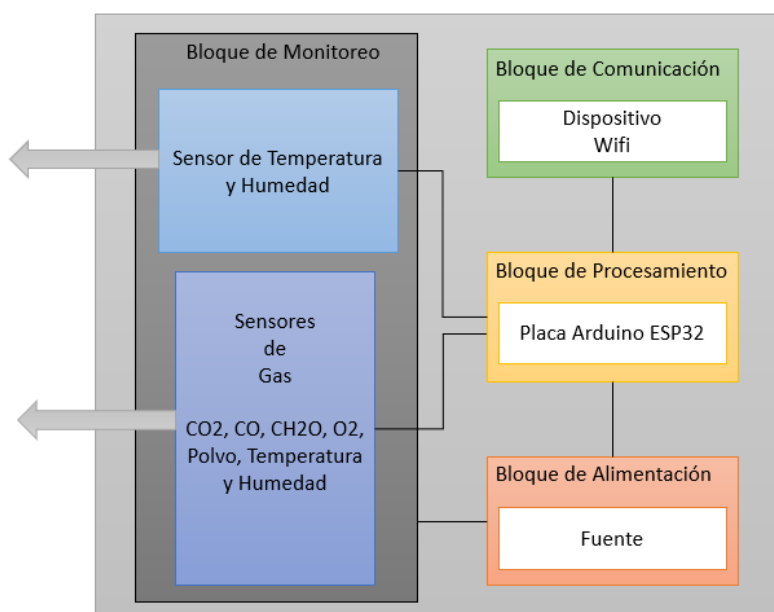


Figura 8. Diagrama de Bloques del Sistema.

Para el diseño e implementación del dispositivo se debe tener un conjunto de elementos que permitan su funcionamiento. De esta manera se describe el hardware y características mínimas necesarias para su desarrollo.

BLOQUE DE ALIMENTACIÓN

Este bloque permite alimentar eléctricamente al sistema de monitoreo, donde es preciso contar con una fuente, que energice los sensores y la tarjeta controladora. En la tabla 14 se presentan los requerimientos para el funcionamiento del sistema.

Tabla 14.

Requerimientos para la Unidad de Alimentación.

Bloque	Requerimientos	Especificación
Alimentación	Sensores	5v
	Circuito de precalentamiento de los sensores	5v - 5.5v
	Tarjeta de Procesamiento	3.7v – 5v
	Corriente de funcionamiento	1A máx.

BLOQUE DE PROCESAMIENTO

El bloque de procesamiento se encarga de transformar los valores análogos de los sensores, a valores digitales, procesarlos y preparar los datos para el envío a la base de datos, además de programar todas las funciones que deben desempeñar los elementos del sistema. Los requerimientos y especificaciones de la unidad de procesamiento se dan a conocer en la tabla 15.

Tabla 15.

Requerimientos para la Unidad de Procesamiento.

Bloque	Requerimientos	Especificación
Procesamiento	ADC entrada analógica	5 resolución min. 8bits
	GPIO entrada digital	2
	Tamaño	Menor 5cmx5cm
	Alimentación	5v
	Corriente	250mA

Fuente: Espressif Inc.

BLOQUE DE MONITOREO

Los ambientes interiores encierran varios gases, uno de ellos es producto de los mismos ocupantes, por la producción natural de dióxido de carbono, vapor de agua, partículas y más. Otro factor es a causa de la contaminación externa sumada la contaminación del mismo edificio por origen de productos de limpieza, y mantenimiento.

En la tabla 16 se presenta los contaminantes químicos más habituales en el aire interior de los edificios, encasillados en función a su potencial procedencia.

Para desarrollar el sistema de monitoreo se toma en cuenta los gases más comunes de cada procedencia, entre ellos: Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Formaldehído, y Partículas de Polvo. Se necesitan sensores sensibles a estos compuestos por lo que se hace referencia a continuación de los requisitos para el funcionamiento, en las tablas 17 y 18.

Tabla 16.*Contaminantes frecuentes en ambientes interiores*

Productos de Combustión	Materiales de Construcción	Productos de Consumo	Varios
Dióxido de Nitrógeno NO₂	Fibra de Vidrio	Pinturas	Oxígeno O ₂
Óxido de Nitrógeno NO	Asbestos	Barnices	Plomo Pb
Monóxido de Carbono CO	Compuestos Orgánicos:	Plásticos	Hierro Fe
Dióxido de Carbono CO₂	Disolventes	Pegamentos	Magnesio Mn
Dióxido de Azufre SO₂	Formaldehido	Disolventes	Complejos de
Orgánicos de madera quemada	Polvo	Sellantes	Aluminio Al ₂ O ₃
Humo de Tabaco:		Fibras textiles	Radón
Aldehídos		Papeles de pared	Ozono
Ácido cianhídrico HCN		Pesticidas	Benceno
Cetonas		Repelentes de Insectos	
Nitrilos		Productos de Limpieza	
Nitrosaminas		Cosméticos	
Nicotina		Alcohol	
Arsénico			
Cadmio			

Fuente: INSHT

Tabla 17.*Requerimiento para los sensores de gases y contaminantes.*

Bloque	Requerimientos	Especificación Sensores
Monitoreo	Alimentación	5 V ± 0.2V
	Salida	Analógica
	Compatibilidad	Arduino
	Corriente	Hasta 250mA
	Tamaño	Máximo 3cmx4cmx1cm
	Peso	Máximo 10g

Tabla 18.*Requerimiento para los sensores de Temperatura y Humedad.*

Bloque	Requerimientos	Especificaciones Temperatura y Humedad
Monitoreo	Alimentación	3.3 V - 6V
	Salida	Digital
	Compatibilidad	Arduino
	Peso	Máximo 10g
	Tamaño	Máximo 2cmx2cmx1cm
	Corriente	Hasta 250mA

BLOQUE DE COMUNICACIÓN

En el bloque de comunicación se realiza la conexión entre el bloque de procesamiento y la Internet, de forma inalámbrica usando 802.11 para conectar el router con acceso a Internet. En la tabla 19 se presentan los requerimientos.

Tabla 19.

Requerimientos del módulo de comunicación.

Bloque	Requerimientos	Especificación
Comunicación	Wifi	IEEE 802.11 b/g/n
	Seguridad	WEP/WPA
	Compatibilidad	Arduino
	Alimentación	5v
	Protocolos de Red	Ipv4/TCP/UDP/HTTP/FTP

Gateway

El gateway es el dispositivo que permite la conexión de una máquina local hacia una red exterior, teniendo como propósito convertir la información del protocolo utilizado en una red, al protocolo 802.11 usado en la red de destino.

Tabla 20.

Requerimientos mínimos de Gateway.

Bloque	Requerimientos	Especificación
Comunicación	Wifi	IEEE 802.11 b/g/n
	Seguridad	WEP/WPA
	Puertos Lan	Mínimo 1
	Protocolos de Red	Ipv4/TCP/UDP/HTTP/FTP

3.1.2. Descripción de Software.

La finalidad del proyecto es crear un sistema de monitoreo ambiental. El software es el encargado de recoger los valores que son enviados desde el dispositivo electrónico de monitoreo a través de los sensores, estos datos son procesados y usados para determinar cuándo un ambiente interior está en riesgo de contaminación, enviando alertas y sugerencias de inserción de un tipo de plantas (vegetales) purificadoras.

Dentro del desarrollo del sistema de software se obedece y plantea las especificaciones de requisitos de software según el estándar IEEE 830-1998, que tiene como objetivo describir el comportamiento del sistema a desarrollarse (Agut, 2008), basándose en los dos tipos de requisitos funcionales, que son los que definen acciones fundamentales que tienen lugar en el software, aceptando y procesando entradas, procesando y generando las salidas.

A continuación, se especifican los requisitos (funcionales y no funcionales) indispensables para el funcionamiento del sistema.

Requisitos Funcionales

Los Requisitos funcionales de un sistema, describen actividades que se realizan, siendo este el comportamiento o función específica de un sistema o software.

TARJETA DE DESARROLLO

Tabla 21.

Requerimientos funcionales de la tarjeta de desarrollo.

Título	Descripción
Establecimiento de conexión	Inicio de sesión verificando nombre y contraseña de la red.
Lectura de datos	Lectura de los datos de los sensores.
Procesamiento de la señal analógica	Conversión en valores digitales los datos analógicos obtenidos.
Comunicación de la tarjeta, a la base de datos	Envío por String los datos obtenidos a la base de datos.

BASE DE DATOS

Tabla 22.

Requerimientos funcionales de la base de datos.

Título	Descripción
Establecimiento de conexión	Inicio de Sesión verificando usuario y contraseña.
Almacenamiento y consulta de datos	Almacenamiento de los valores obtenidos y consulta de los mismos, desde la base de datos.
Comunicación de la base de datos a la página web.	Visualización de valores finales en la página web y en la base de datos.

APLICACIÓN WEB

Tabla 23.

Requisitos funcionales de la aplicación web.

Título	Descripción
Ingresar y Validar	Validación de usuario y contraseña asignada para el ingreso.
Ingreso al monitoreo	Consulta de información promedio de sensores a la base de datos.
Opciones de selección de nodos (cajas)	Mostrar las opciones de nodos habilitados desde el número 1 al 4.
Selección de nodo	Mostrar todas las pruebas o análisis realizados con un nodo en especial.
Visualización de concentración de gas.	Gráficas dinámicas con información inmediata obtenida, de los datos recopilados.
Historia de datos	Selección de gráfica de todo el monitoreo.
Indicador de alerta	Botones marcados con color rojo o verde según la peligrosidad de contaminación.

CONTINUA

Recomendaciones del sistema	Visualización de recomendaciones según el nivel de contaminación existente en el área monitoreada.
Descarga de información	Descarga de documento como archivo individual.

Los requisitos no funcionales detallan las características generales o restricciones del sistema.

Tabla 24.

Requisitos no funcionales.

Título	Descripción
Sensores	Se requiere una calibración por software.
Usuarios	Dos perfiles: Administrador y operador.
Seguridad	Se mantienen los usuarios, uno de administrador que tiene acceso a todo el sistema y otro que tiene acceso únicamente a lo que le dio permisos el administrador.
Interfaz gráfica	Diseño visual agradable, informativo y de fácil manejo.
Contenido	Entendible tanto en texto como en gráficas.

3.2. Selección y Caracterización de los sensores

Para el monitoreo de los gases indicados existe una gran cantidad de sensores, dentro de los cuales se debe considerar parámetros de selección como: disponibilidad, precio, consumo energético, y cumplimiento con las características de hardware.

Por otro lado, la caracterización del sensor consiste en calcular la ecuación característica del comportamiento de cada sensor a utilizar, determinando la medida en la que una variable de salida, se modifica, en este caso una variable eléctrica, con relación a la variable de entrada, este procedimiento es esencial para la interpolación de valores.

Por lo que se debe asegurar que los sistemas de sensores y acondicionamiento trabajen con un porcentaje aceptable de error para que operen indefinidamente (Gonzales, Giraldo 2014).

3.2.1. Sensores de gas tipo MOS

Para que el sistema monitoree los gases, es necesario utilizar sensores sensibles a las variaciones de estos en el ambiente; los gases más comunes en ambientes interiores son: Monóxido de Carbono, Formaldehido, Dióxido de Carbono, Oxígeno.

En la tabla 25, se analiza los tipos de sensores comerciales disponibles según la sensibilidad a los diferentes gases.

Tabla 25.

Sensores sensibles a los diferentes gases.

Sensores	Sensibilidad a Gases		
	Alta	Media	Baja
MQ-7	Monóxido de Carbono	-	Hidrógeno
MG811	CO2	-	-
MS1100	Formaldehido	Benceno	Tolueno
GROVEO2	O2	-	-

Los sensores seleccionados que se proponen en este desarrollo, deben cumplir con la disponibilidad en el mercado Nacional, tiempo de vida útil, espectro de monitoreo, y su costo.

Sensor de Dióxido de Carbono

En la tabla 26 se muestra las características de los dos sensores de dióxido de carbono, a continuación, se evalúa y compara empíricamente los resultados.

Tabla 26.*Comparación sensores de CO2.*

Características	Modelo de Sensor	
	MQ135	MG811
Fiabilidad	Media	Alta
Detección de otros gases	Si	No
Rango de detección	10-1000ppm	350-10000ppm
Tiempo de respuesta	>60s	<15s
Costo (Ecuador)	7,50	74,99
Disponibilidad	Inmediata	Inmediata

Para la detección del gas dióxido de carbono, se analizaron dos modelos de sensores disponibles, conectados simultáneamente; de donde se marcaron claras diferencias, en el sensor MG811, donde se nota una sensibilidad alta a un solo tipo de gas, un rango de detección muy amplio iniciando desde los 350 PPM, hasta los 10000 PPM, permitiendo una gran gama de aplicaciones con respecto a monitoreo ambiental, dispone un circuito de calentamiento óptimo con una respuesta estable luego de aproximadamente 15 segundos, por esas razones se determinó que el sensor MG811 es el idóneo para el sistema de monitoreo; ya que a pesar de su precio alto en el mercado nacional, su utilidad y disponibilidad son ideales para la utilización del mismo en el sistema.

SENSOR MG811

El sensor MG811, posee 4 pines: salida digital (D0), salida analógica (A0) con un rango de 0 a 2 voltios, positivo y negativo para alimentación, además en su módulo de acondicionamiento de la señal tiene un potenciómetro para ajustar la amplificación y comparación en el caso de que existiera más de un gas presente en él ambiente, este sensor lee concentraciones de 350 a 10000 PPM, y es muy versátil ya que tiene un peso aproximado de 10 gramos, apto para aplicaciones portables.



Figura 9. Sensor MG811

Tabla 27.

Especificaciones Técnicas Sensor MG811

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje Operativo	$\leq 5\text{v}$
Salida	Analógica
Disipación de potencia	1200mW
Consumo de Corriente	150mA
Temperatura de operación	-20 a 70 °C
Rango de detección	350 a 10000 ppm
Dimensiones	32x22x30mm
Frecuencia de muestreo	(1 c/30seg)

En la figura 10, se muestra el circuito de conexión, para las pruebas del sensor, así como la respuesta al monitoreo en el ambiente mostrado en la figura 11.

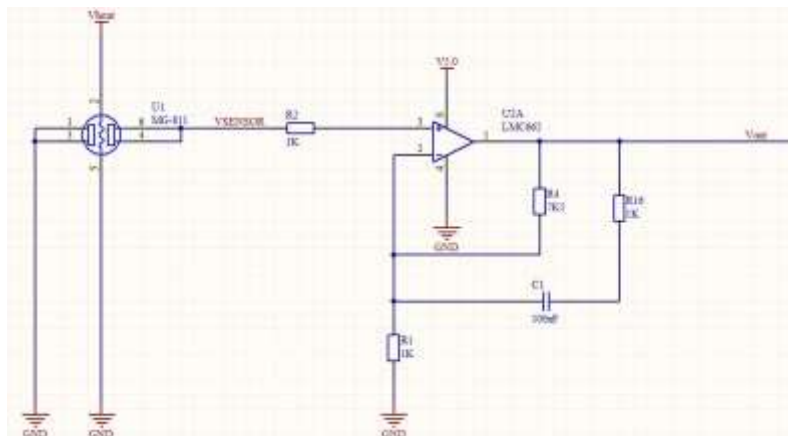


Figura 10. Circuito básico de acondicionamiento de la señal del sensor MG 811.

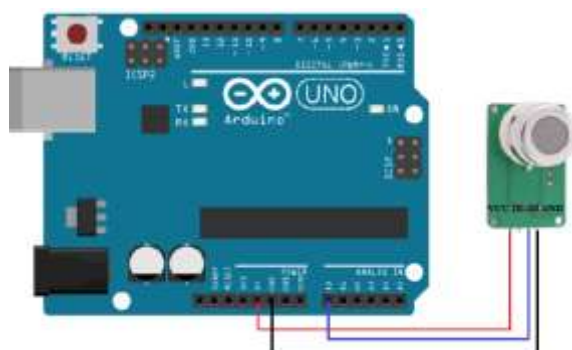


Figura 11. Conexión de prueba para el sensor de CO2.

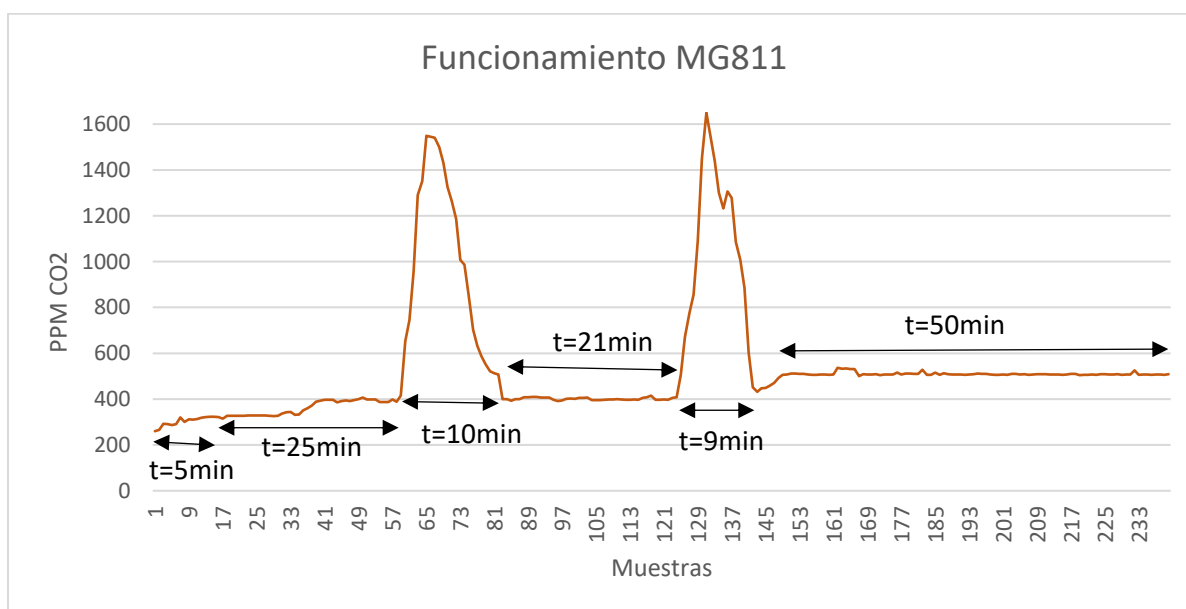


Figura 12. Gráfica de respuesta del sensor de CO2.

Para evaluar el desempeño del sensor de dióxido de carbono se realizó una prueba en un ambiente exterior, con una temperatura de 18 grados centígrados, iniciando a las 9 horas en la mañana, mientras que, para comprobar la variación del dióxido de carbono se utiliza un extintor portátil de 5 kg de CO₂, de la marca valle- unión. Debido a la dispersión y presión de 170 Bar, que

tiene el extintor, se lo realiza a 1 metro de distancia del dispositivo de sensado, realizado por 120 minutos, donde se tomó valores cada 30 segundos obteniendo 240 muestras, tomando en cuenta que al monitorear cada segundo no se ven mayores cambios, razón por la cual se lo realizó con una ventana de muestreo de 30 segundos duplicando la ventana usada por Spachos y Hatzinakos (2015), en dispositivos de uso circunstancial, tomando esta ventana de muestreo como criterio para todas las siguientes pruebas.

Una vez iniciada la prueba se puede identificar que después de precalentar el circuito por 5 minutos, los valores aumentan hasta que se mantienen estables entre 325PPM y 400 PPM, estos datos se mantienen durante 25 min, luego de haber pasado los primeros 30 minutos y 60 minutos de prueba se procede a disparar el extintor por dos ocasiones, para verificar respuestas y variaciones a las concentraciones de CO₂ en el ambiente, en donde se logra llegar a dos picos más altos sobrepasando las 1500 PPM en un tiempo de 3 minutos para llegar al valor máximo y de 6 a 7 minutos para su recuperación y funcionamiento sin cambios bruscos.

Cabe mencionar que después de haber realizado la segunda prueba, este registró valores entre las 500PPM en el periodo más largo de 50 minutos.

Sensor de Monóxido de Carbono

En la tabla 28 se muestra las características de los dos sensores de monóxido de carbono, a continuación, se evalúa y comparan empíricamente los resultados.

Tabla 28.

Comparación sensores de CO.

Características	Modelo de Sensor	
	ZEO7-CO	MQ7
*6969Fiabilidad	Media	Alta
Detección de otros gases	Si	Si
Rango de detección	10-1000ppm	0-500ppm
Tiempo de respuesta	≤60s	≤60s
Costo (Ecuador)	29,00	9,50
Disponibilidad	30 días	Inmediata

A pesar de que los dos sensores pueden detectar otros gases, el sensor MQ7 posee una alta fiabilidad en sus mediciones, además de detectar CO en un rango de medida de 0 a 500 PPM, importante para ambientes interiores ya que tomando en cuenta este parámetro, el sensor MQ7 llega a medir cantidades inferiores a las 10 PPM, y se lo adquiere a un costo asequible con una disponibilidad inmediata, en el mercado nacional, haciéndolo ideal para ser utilizado en el sistema a implementar.

SENSOR MQ-7

El sensor MQ7, tiene una salida analógica que viene del divisor de voltaje que forma el sensor y la resistencia de carga, una salida digital que se ajusta con un potenciómetro, la misma que tiene un led indicador.



Figura 13. Sensor MQ7.

Este sensor es de alta sensibilidad al monóxido de carbono, pero también puede detectar hidrogeno en el ambiente.

Tabla 29.

Especificaciones Técnicas Sensor MQ7.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje Operativo	$\leq 5v$
Salida	Analógica
Disipación de potencia	750mW
Consumo de Corriente	350mA
Temperatura de operación	-10 a 50 °C
Rango de detección	0 – 500ppm
Dimensiones	22x30x15mm
Frecuencia de muestreo	(1 c/30seg)

En la figura 13 se muestra el circuito de conexión, así mismo la gráfica 14, muestra los resultados de la prueba.

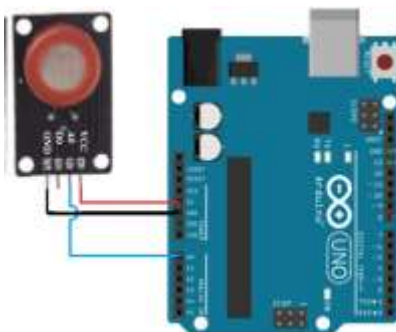


Figura 14. Conexión de prueba para el sensor de CO.

Para evaluar el desempeño del sensor de monóxido de carbono se lo realiza por 25 minutos, donde tomo valores cada 30 segundos obteniendo 50 muestras, ya que al monitorear cada segundo no se ven mayores cambios. Las pruebas se lo realizan en un ambiente interior con una temperatura ambiente de 21 grados centígrados, donde las medidas oscilan de 1 a 5 PPM, sin tener variaciones bruscas. Tomando en cuenta que durante un tiempo de 25 minutos en cualquier momento se expone al gas mencionado.

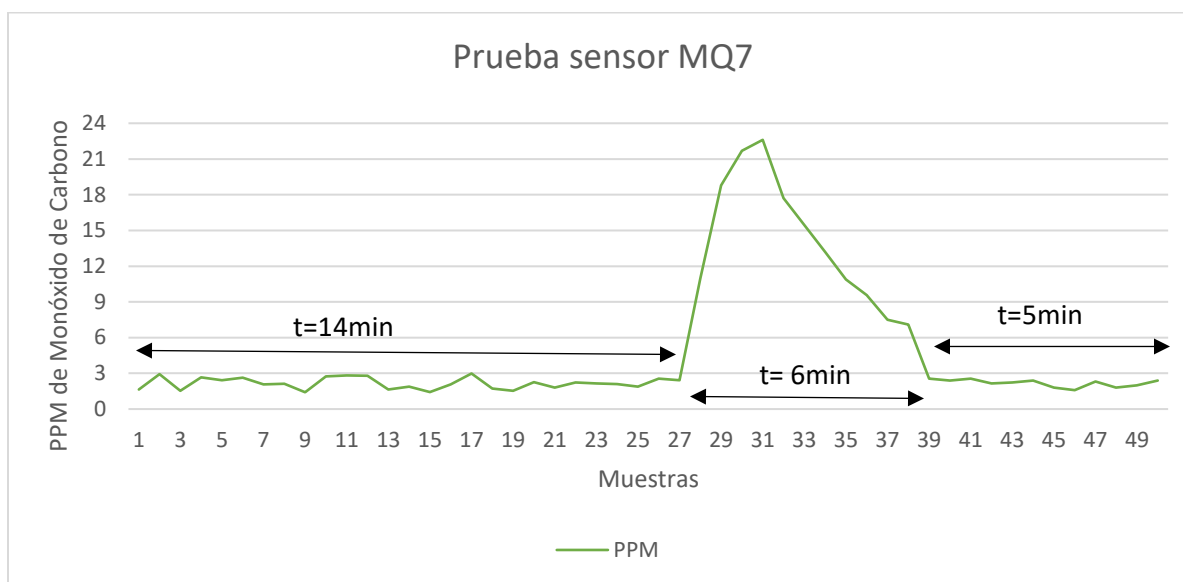


Figura 15. Gráfica de respuesta del sensor de CO.

Desde la muestra 29 a la 38, en un tiempo de 6 minutos existen cambios, debido a que el sensor fue sometido a una exposición leve de 25ml de monóxido de carbono, en contacto directo con el sensor, con el fin de visualizar la respuesta ante la presencia de dicho gas, el pico máximo se da en la muestra número 31 con 23 PPM aproximadamente, y la respuesta vuelve a estabilizarse después de alrededor de 9 muestras, eso quiere decir que se tomó unos 4.5 minutos para que el comportamiento regrese a la normalidad, indicándose mediante esta prueba que el sensor es sensible, frente a diferentes concentraciones de CO.

Sensor de Formaldehido

En la tabla 30 se muestra las características de los dos sensores de formaldehido. A continuación, se evalúa y compara empíricamente los resultados.

Tabla 30.*Comparación sensores de Formaldehido.*

Características	Modelo de Sensor	
	MQ138	MS1100
Fiabilidad	Media	Alta
Detección de otros gases	Si	Si
Rango de detección	10-1000ppm	0-1000ppm
Tiempo de respuesta	30s	≤ 5s
Costo (Ecuador)	42,85	53,90
Disponibilidad	30 días	70 días

Para la detección del gas de formaldehido, se analizaron dos modelos de sensores, a pesar de que ninguno de los dos sensores se encontró en el mercado nacional, se identifica características esenciales para determinar cuál es el mejor, por ejemplo, tomando en cuenta que el MS1100 es muy sensible al formaldehido y a todos sus derivados, con un margen de fiabilidad de mediciones alto. Además, este sensor detecta en un rango mínimo desde 0 PPM, aspecto importante, ya que este gas al llegar a 1 PPM ya se lo considera peligroso para la salud humana, finalmente el tiempo de respuesta del sensor MS1100 es menor a 5 segundos en comparación con el MQ158, Por lo que lo hace ideal para el uso en la implementación del sistema.

SENSOR MS1100

El sensor MS1100 tiene una salida analógica, de 0 a 5 voltios. Una salida digital de bajo nivel. Además, la sensibilidad de este sensor puede ajustarse, configurando los umbrales del sensor, además de poder detectar en el ambiente directamente al gas formaldehido y sus derivados como: formol y conservantes.



Figura 16. Sensor MS1100.

Tabla 31.

Especificaciones Técnicas sensor MS1100

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje Operativo	5 V +/-2%
Salida	Analógica
Disipación de potencia	380mW
Consumo de Corriente	200mA
Temperatura de operación	-10 a 60 °C
Rango de detección	0-1000ppm
Dimensiones	15x12x10mm
Frecuencia de muestreo	(1 c/30seg)

En la figura 16 se muestra el circuito de conexión, así mismo la gráfica 17, muestra los resultados de la prueba.

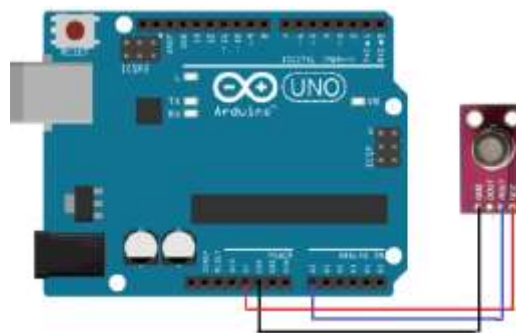


Figura 17. Conexión de prueba para el sensor de Formaldehído.

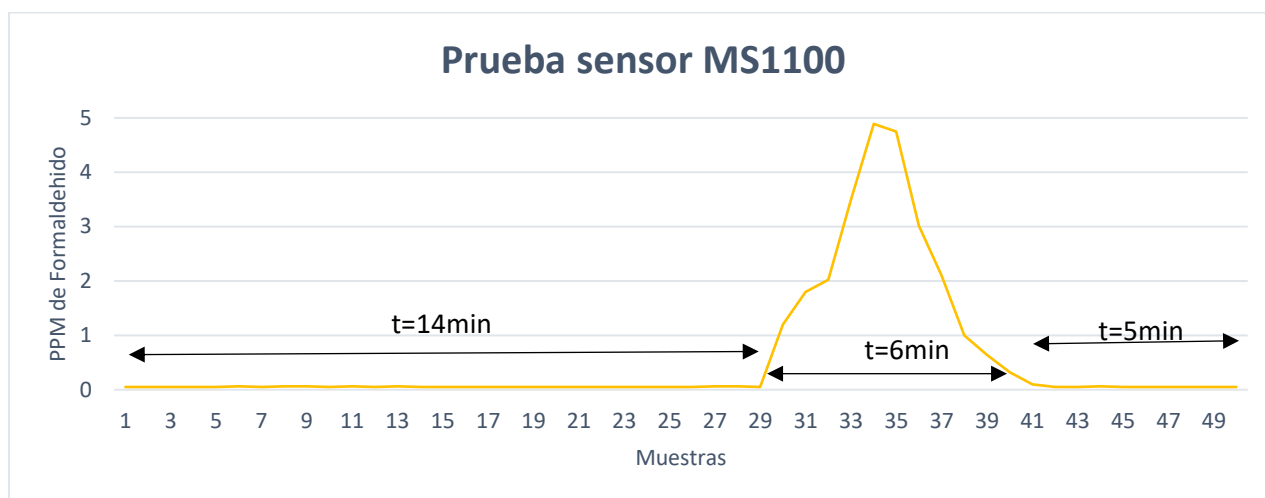


Figura 18. Gráfica de respuesta del sensor de Formaldehído.

Para evaluar el desempeño del sensor de formaldehído, se lo realiza por 25 minutos, donde tomo valores cada 30 segundos obteniendo 50 muestras. Para la prueba del gas de formaldehído, se lo realiza en un ambiente exterior a 20 grados centígrados en promedio, debido a que es un gas muy fuerte de alta toxicidad, para esto se utiliza además una botella de 500ml de formol de venta libre al 20%, a una distancia de 10 cm del sensor, que servirá para verificar el funcionamiento del sensor en un determinado tiempo. Una vez iniciada la prueba durante 14 minutos el sensor se mantuvo estable con valores menores a 1PPM, luego de la muestra 28 se acerca una botella de formol al sensor, con lo cual se produce una variación de los valores hasta llegar a un pico de 5PPM, en un tiempo de 4 minutos, se aleja la botella del sensor y se observa que a los 2 minutos aproximadamente este vuelve a la normalidad registrando valores menores a 1PPM, con esto se verifica que el sensor se encuentra funcionando frente a variaciones de concentración del gas.

Sensor de Oxígeno

En la tabla 31 se muestra las características de los dos sensores de oxígeno, a continuación, se evalúa y comparo empíricamente los resultados.

Tabla 32.*Comparación sensores de O2.*

Características	Modelo de Sensor	
	40xvCiTiceL	ME2-O2
Fiabilidad	Alta	Alta
Detección de otros gases	No	No
Rango de detección	1%-25%	1%-25%
Tiempo de respuesta	<15s	<15s
Costo (Ecuador)	200,00	94,50
Disponibilidad	60 días	Inmediata

Para la detección del oxígeno, se analizaron dos modelos de sensores, tomando en cuenta que ambos sensores poseen las mismas características técnicas, el sensor ME2-O2 incluye un módulo que es el circuito acondicionador de señal, ideal para la lectura directa de valores emitidos por la salida analógica.

Además, el sensor ME2-O2 se consigue de manera inmediata, por lo que se ve ideal para el uso en la implementación del sistema.

SENSOR GROVE O2

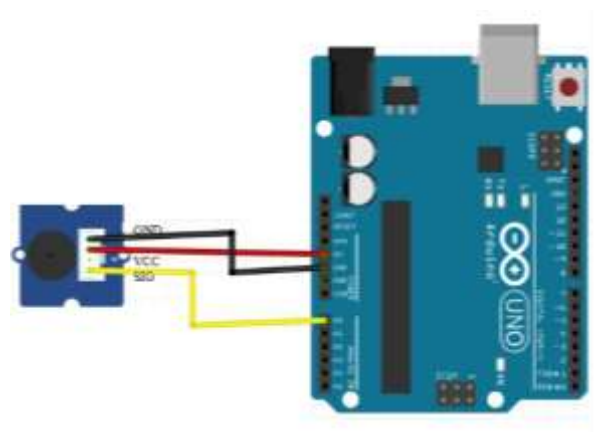
El sensor grove O2, es un tipo de sensor de salida analógica. Para la detección del oxígeno en el aire se fundamenta en el principio de la celda electroquímica, emitiendo valores de voltaje proporcionales al nivel oxígeno presente en el ambiente.

**Figura 19.** Sensor de Oxígeno.

Tabla 33.*Especificaciones Técnicas sensor Me2-O2*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje Operativo	5v
Salida	Analógica
Disipación de potencia	500mW
Consumo de Corriente	150mA
Temperatura de operación	-20° a 50°C
Rango de detección	0%-25%
Dimensiones	20x40x20mm
Frecuencia de muestreo	1 Hz (1 c/seg)

En la figura 20 se muestra el circuito de conexión, así mismo la gráfica 21, muestra los resultados de la prueba.

**Figura 20.** Conexión de prueba para el sensor de O2.

Para evaluar el desempeño del sensor de oxígeno, realiza por 60 minutos, donde tomo valores cada 15 segundos obteniendo 240 muestras, siendo esta la ventana usada por Spachos y Hatzinakos (2015). Para esta prueba se utilizó 15 gramos de hielo seco, ya que este elemento es capaz de desplazar el oxígeno presente en la atmósfera, se lo realiza en un ambiente interno dentro de una caja hermética de 30x30x50cm, con un promedio de 19 grados centígrados, en horas de la mañana.

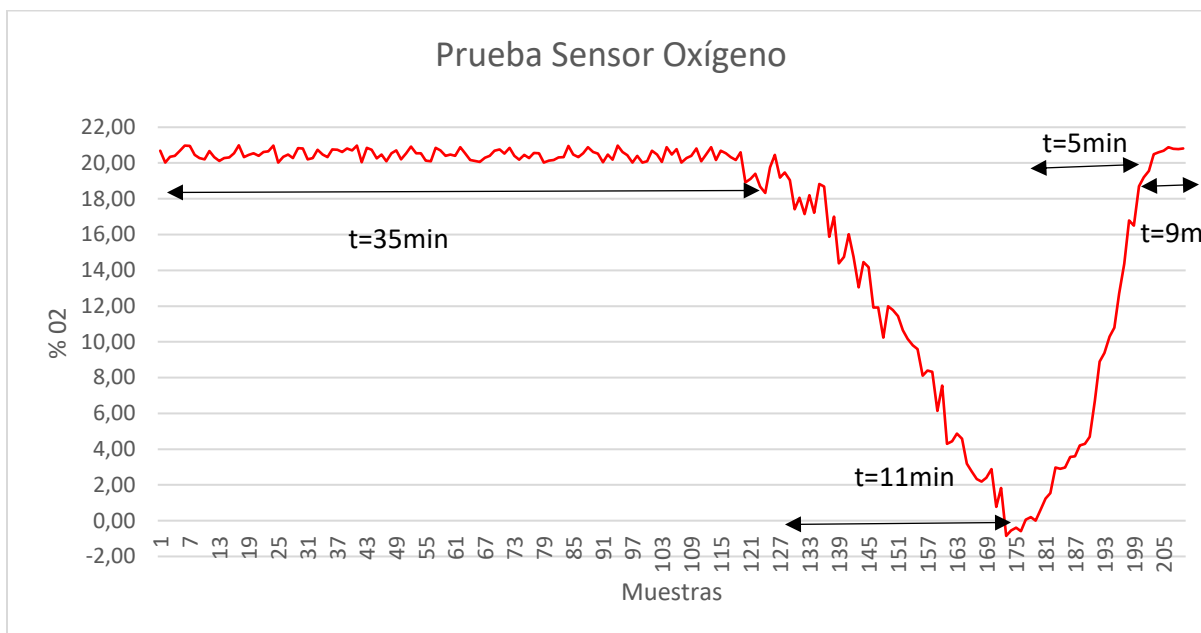


Figura 21. Gráfica de respuesta del sensor de Oxígeno.

Al iniciar la prueba durante los primeros 35 minutos no se observan cambios drásticos sino, únicamente una variación del oxígeno presente desde 20 a 20.8% de O₂, se introduce los 15 gr de hielo seco y se observa cómo se va desplazando el oxígeno lentamente, ya que todo ese proceso tiene una duración de 11 minutos, transcurrido ese tiempo y una vez logrado que llegue a un 0 % de oxígeno, se retira el hielo seco junto con la tapa de la caja y se verifica como el sensor vuelve a testear valores normales de 20.6% después de haber pasado 5 minutos.

3.2.2. Sensor de Partículas de Polvo

En la tabla 33 se muestra las características de los dos sensores de partículas de polvo, a continuación, se evalúa y comparan empíricamente los resultados.

Tabla 34.

Comparación sensores de particulado de polvo.

Características	Modelo de Sensor	
	GP2Y1010AU0F	GP2Y1014AU0F
Precisión	±20%	±10%
Tamaño mínimo de polvo detectable	0.5um	0.5um
Rango de detección	Hasta 450ug/m3	Hasta 480ug/m3
Tiempo de respuesta	<5s	<1s
Costo (Ecuador)	10,50	15,50
Disponibilidad	15 días	Inmediata

Para la detección de partículas de polvo, se analizaron dos modelos de sensores disponibles, conectados simultáneamente; de donde se marcaron claras diferencias, los dos modelos de sensor miden la densidad total del polvo, en las cuales están partículas de 0.5, 1, 2.5, 10 micras, etc., lo que se toma en cuenta al escoger el sensor, es la precisión que debe mantenerse en lo más alta posible, para identificar a las partículas causantes de los problemas respiratorios, además de una respuesta rápida y disponibilidad inmediata en el mercado nacional. Por lo que el sensor Sharp GP2Y1014AU0F es el ideal para la utilización en la implementación del sistema.

SENSOR Sharp GP2Y1014AU0F

El sensor Sharp GP2Y1014AU0F, es el modelo más actual en la línea de sensores de polvo de Sharp, este tiene una salida analógica, mide concentraciones de partículas de mínimo 1 micra, tiene un conector JCTC con 6 pines, que requiere de un circuito pequeño de impulsión de pulso LED, importante para el correcto funcionamiento.



Figura 22. Sensor de polvo Sharp GP2Y1014AU0F.

Para conectar el circuito adicional Arduino Uno debe estar conectado al sensor con el condensador de tipo electrolítico de 150uF entre el pin 2 y 3 del sensor y la resistencia de 150ohms desde el pin 1 en el sensor hasta los 5 voltios. Los pines 2 y 4 de los sensores deben estar conectados a tierra o GND de Arduino y finalmente el pin 6 en el sensor al pin de 5 voltios en Arduino y el pin 5 en el sensor al A5 del Arduino.

Tabla 35.

Especificaciones Técnicas sensor Sharp GP2Y1014AU0F

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje Operativo	5±0.5v
Salida	Analógica
Disipación de potencia	530mW
Consumo de corriente	20mA
Temperatura de operación	-10° a 65°C
Sensibilidad	0.5v / (100ug/m3)
Dimensiones	34x22x17mm
Frecuencia de muestreo	1 Hz (1 c/seg)

En la figura 23 se muestra el circuito de conexión, así mismo la gráfica 24, muestra los resultados de la prueba.

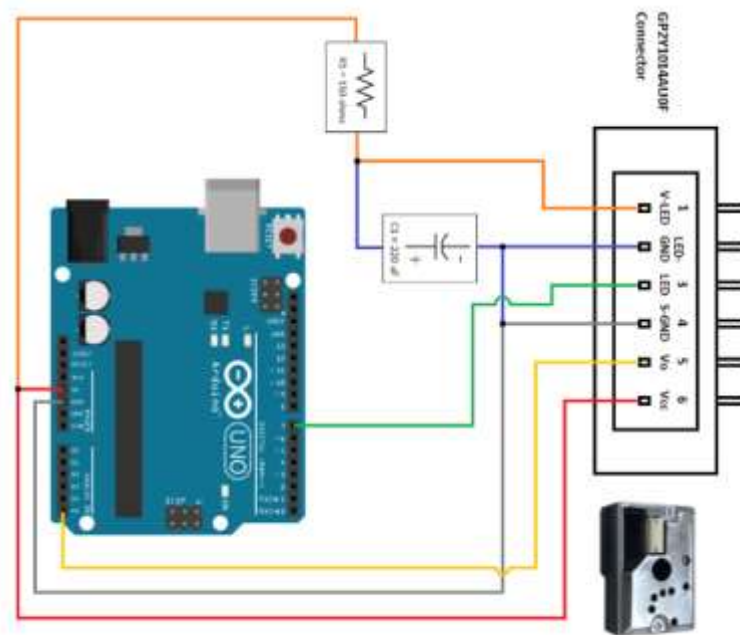


Figura 23. Conexión de prueba para el sensor de polvo.

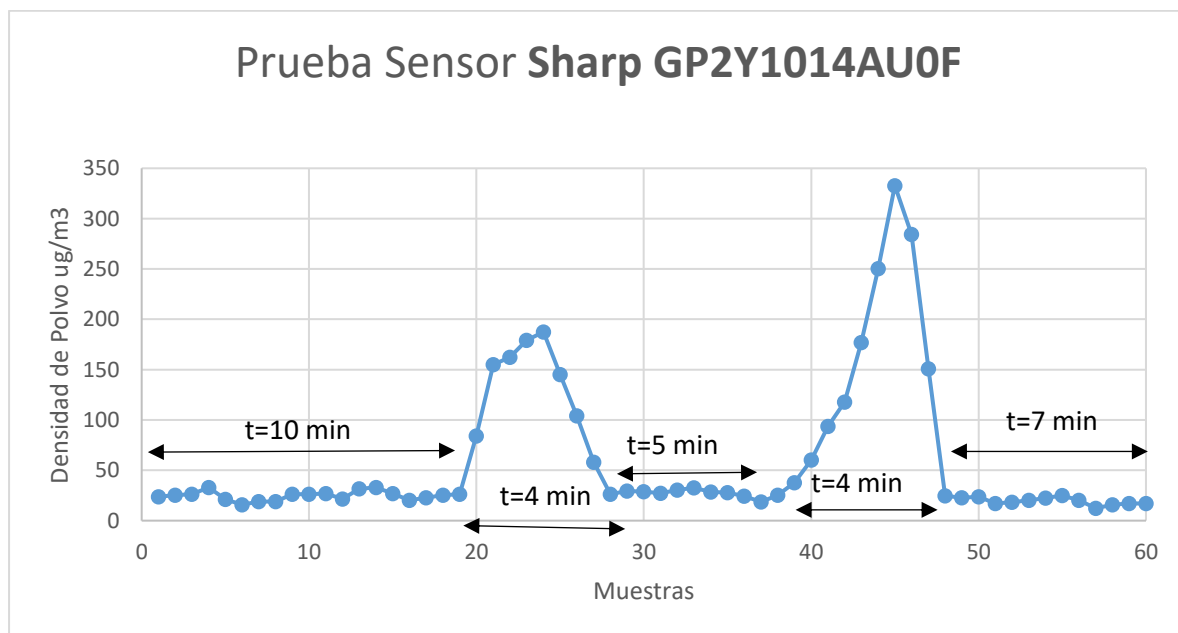


Figura 24. Gráfica de respuesta del sensor de polvo.

Para la prueba del sensor de polvo se lo realiza con 60 muestras, en un ambiente interior cerrado, sin fuentes de ventilación, con una temperatura de aproximadamente 23 grados centígrados.

Al empezar a monitorear se muestra que en un ambiente interior limpio refleja desde 2 a 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, para la prueba de variación, se utiliza 1 cucharadita de azúcar glas equivalente a 5gr y 1 cucharadita de hollín equivalente a 7 gr, éstos dos elementos pertenecen a un particulado de PM 2.5 y PM 10, para la dispersión del azúcar glas se la realiza a los 10 minutos de haber empezado el monitoreo y para la dispersión del hollín en el ambiente se lo realiza a los 10 minutos siguientes. El sensor trabaja según el principio de dispersión de luz, haciendo que el fotodetector y el emisor LED que posee se opongán entre sí en un ángulo dentro del sensor y que se refleje en el orificio central de cada lado, si se satura el orificio éste reaccionará de inmediato y mayor será la intensidad de luz dispersa generando un valor de voltaje que va de acuerdo a la densidad de polvo real según la relación lineal generada por el mismo, por tal motivo una vez iniciada la primera variación en la muestra 20 se ve un pico debido a la obstrucción parcial del orificio, realizado con azúcar glas, llegando a un valor máximo de $180\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Luego de que transcurrió 10 minutos más, se realiza la prueba con el hollín, llegando a un pico máximo de $333\mu\text{g}/\text{m}^3$, donde su variación va desde $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, al realizar estas pruebas se identifica que para que en el ambiente se dispersen las partículas nuevamente toma alrededor de 4 minutos, una vez transcurrido este tiempo vuelve a reflejar los valores cotidianos del inicio de la prueba.

3.2.3. Sensor de Temperatura y Humedad

En la tabla 36 se muestra las características de los dos sensores de temperatura y humedad, a continuación, se evalúa y comparan empíricamente los resultados.

Tabla 36.*Comparación sensores de temperatura y humedad*

Características	Modelo de Sensor	
	DHT11	DHT22
Fiabilidad	Alta	Alta
Estabilidad	H: $\pm 1\%$ por año T: $\pm 1^\circ\text{C}$ por año	H: $\pm 0.5\%$ por año T: $\pm 0.5^\circ\text{C}$ por año
H: Humedad T: Temperatura		
Precisión	H: 95% T: 90%	H: 98% T: 99.58%
Tiempo de respuesta	6-30s	2-5s
Frecuencia de muestreo	1Hz	2Hz
Costo (Ecuador)	2,50	9,99
Disponibilidad	Inmediata	Inmediata

Los dos modelos de sensores de temperatura y humedad pertenecen a la misma familia, con la ventaja de que se puede realizar mediciones simultaneas de dos variables, teniendo una salida digital que simplifica la obtención de las distintas mediciones, sin embargo, el DHT22 es el modelo superior en cuanto a características técnicas como estabilidad y precisión.

A pesar de que su valor se ve afectado 3 veces en comparación al DHT11, este lo compensa con las mejoras en su funcionamiento.

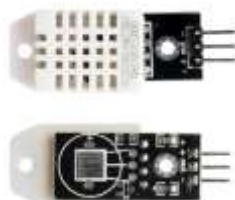
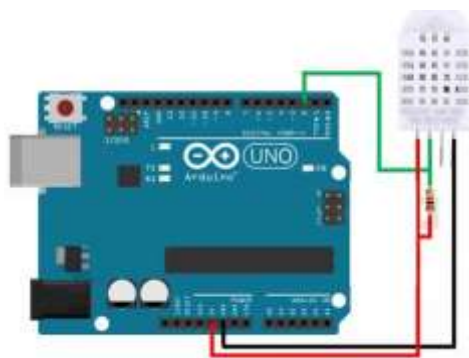
SENSOR DHT22**Figura 25.** Sensor de temperatura y humedad DHT22.

Tabla 37.*Especificaciones Técnicas sensor DHT22*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Voltaje Operativo	3.3 – 6.6 v
Salida	Digital
Disipación de potencia	200mW
Consumo de corriente	2.5mA
Temperatura de operación	-40° a 80°C
Dimensiones	14x18x5.5mm
Frecuencia de muestreo	2Hz (2 c/seg)

En la figura 26 se muestra el circuito de conexión, así mismo la gráfica 27, muestra los resultados de la prueba.

**Figura 26.** Conexión de prueba para el sensor de temperatura y humedad.

Para evaluar el desempeño del sensor de temperatura y humedad, se lo realiza por 30 minutos, donde tomo valores cada 15 segundos obteniendo 120 muestras. Esta prueba se lo realiza en un ambiente interior, sin ventilación, con una temperatura promedio ambiental de 20 grados centígrados, además para verificar el funcionamiento, la prueba de variación se la realiza con una fuente emisora de calor, en este caso una secadora marca Montero de 2000w de potencia, que emite 50 grados centígrados a una distancia de 15 cm, a los 15 minutos de haber iniciado el monitoreo.

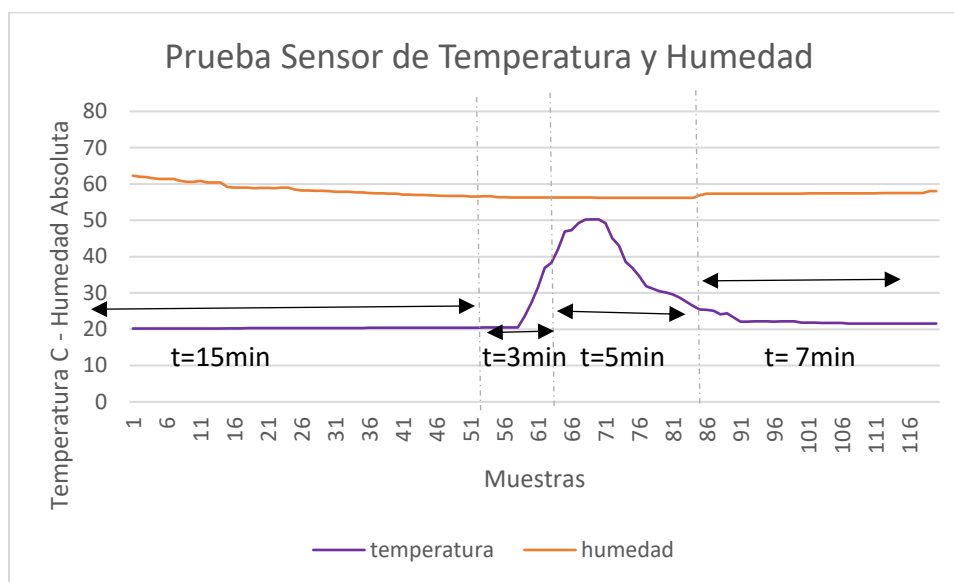


Figura 27. Gráfica de respuesta del sensor de temperatura y humedad.

Para iniciar la prueba se deja encendido al sensor durante 15 minutos, en donde se identifica que la temperatura varía desde 20 a 20.5 grados centígrados y la humedad va desde 62 a 55, pasado este tiempo se acerca el secador al sensor, haciendo que en 3 minutos éste cambie y se mantenga por 3 muestras más en el mismo valor, llegando a un pico máximo de 50.4 grados y la humedad de hasta 55, se apaga el emisor de calor y se observa que los valores disminuyen hasta llegar a los valores iniciales en un lapso de 5 minutos que sería el tiempo en el cual el sensor se recupera, posteriormente el sensor sigue trabajando normalmente con temperatura promedio de 20 a 21 grados y hasta finalizar la prueba en 7 minutos más.

3.3. Calibración de los Sensores

Este proceso, se lo realiza para asegurar que los datos obtenidos en el monitoreo sean reales y tengan el menor error de tolerancia posible.

3.3.1. Calibración por software.

Se realiza un proceso de regresión logarítmica, encontrando la relación entre la lectura analógica y el valor real leído tomando en cuenta que estos no son lineales. La regresión sirve para encontrar la ecuación característica de cada sensor, según la curva del datasheet. Este procedimiento se lo realiza de igual forma para todos los sensores.

Sensor de Dióxido de Carbono

1. Se identifica la curva funcionamiento integrada en el datasheet de cada sensor, la cual indica el comportamiento del mismo de manera logarítmica y bajo distintas condiciones de operación.

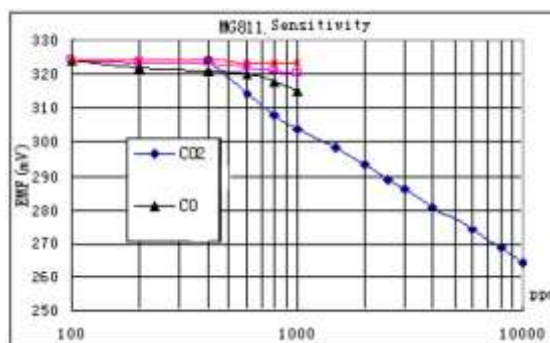


Figura 28. Curva del Datasheet CO2.

Debido a que se muestra la curva, mas no la ecuación, es importante estimar por regresión y hallar la ecuación correspondiente.

2. Ingresar los datos de los puntos correspondientes a la curva del CO2 en una tabla, haciendo constar la mayor cantidad de puntos y graficar los mismos, utilizando Excel.

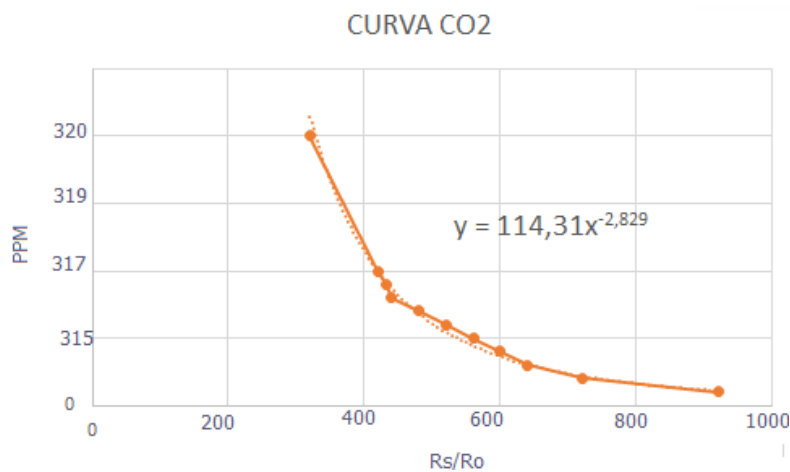


Figura 29. Curva del CO2 con su ecuación.

- Se presiona la línea correspondiente a la gráfica y con clic derecho escoger agrega una línea de tendencia potencial, posteriormente en el mismo recuadro que aparece seleccionamos la opción de presentar la ecuación en el gráfico.

La ecuación que se obtiene es la siguiente:

$$CO2 = 114.31 * \left(\frac{RS}{RO}\right)^{-2.829}$$

Ecuación 1

Donde:

CO2; Valor de la concentración del Dióxido de Carbono.

Ro; Constante igual al valor de la resistencia del sensor expuesto a concentraciones máximas.

10000 PPM para el CO2.

Rs; Resistencia del sensor dado por el fabricante.

4. Encontrar R_s .

Mediante la ecuación del valor leído se despeja R_s , dicha ecuación es del divisor de voltaje que forma el sensor con la resistencia de carga R_l .

$$V = 5 * \left(\frac{R_l}{R_s + R_l} \right)$$

Ecuación 2.

Reemplazando $R_l=20000$, Despejando R_s ;

$$R_s = 20000 * \left(\frac{5 - V}{V} \right)$$

Ecuación 3.

5. Calcular R_o .

El valor de R_o se calcula sometiendo el sensor a la máxima cantidad de gas posible, en este caso 10000 ppm (R_o es diferente para cada sensor).

El sensor de CO_2 se satura con 10000 PPM, el cual en la figura 28 corresponde a un R_s/R_o de 265, se genera una exposición máxima del gas y se mide el voltaje máximo, en este caso 3.02V, reemplazando en la ecuación 3, dá un $R_s= 13112.58$

$$R_o = \frac{R_s}{45.0}$$

Ecuación 4.

Obteniendo un $R_o=29112$, que se utilizará en el proceso matemático para la solución de la ecuación 1, con lo cual se obtiene los valores de concentración de cada gas en PPM.

```

//*****CO2 PIN GPIO36*****//

int adc_MQ = analogRead(A0); //Lectura de la salida analógica PIN GPIO36
float v = adc_MQ * (5.0 / 4095.0); //Conversión del valor análogo a voltaje
float Rs=20000*((5-v)/v); //Calculo de Rs con un RL de 20000
float CO2=(114.31*pow(Rs/29112, -2.83)); // Calculo de la concentración

```

Figura 30. Código de Calibración para CO2.

Sensor de Monóxido de Carbono

1. Se identifica la curva funcionamiento integrada en el datasheet de cada sensor, la cual indica el comportamiento del mismo de manera logarítmica y bajo distintas condiciones de operación.

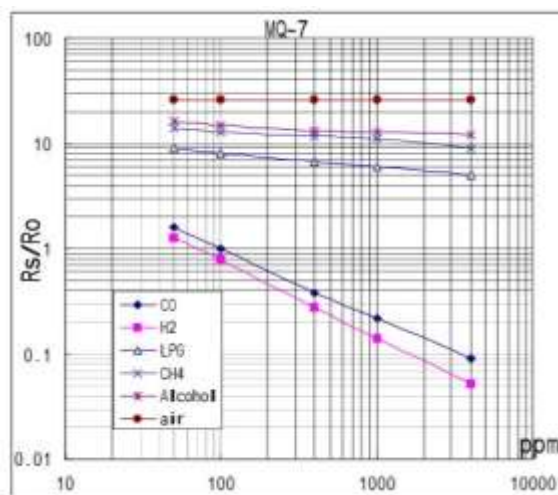


Figura 31. Curva del datasheet CO.

Para encontrar la ecuación

2. Ingresar los datos de los puntos correspondientes a la curva del CO2 en una tabla, haciendo constar la mayor cantidad de puntos y graficar los mismos en Excel.

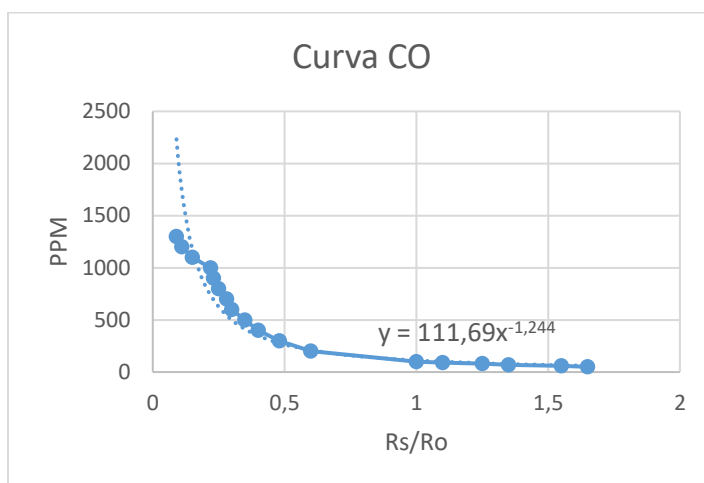


Figura 32. Curva del CO con su ecuación.

- Se presiona la línea correspondiente a la gráfica y con clic derecho escoger agrega una línea de tendencia potencial, posteriormente en el mismo recuadro que aparece seleccionamos la opción de presentar la ecuación en el gráfico.

La ecuación que se obtiene es la siguiente:

$$CO = 116.69 * \left(\frac{RS}{RO}\right)^{-1.244}$$

Ecuación 5 .

Donde:

CO; Valor de la concentración del Monóxido de Carbono.

Ro; Constante igual al valor de la resistencia del sensor expuesto a concentraciones máximas.

1000 PPM para el CO2.

R_s ; Resistencia del sensor dado por el fabricante.

4. Encontrar R_s .

Mediante la ecuación del valor leído se despeja R_s , dicha ecuación es del divisor de voltaje que forma el sensor con la resistencia de carga R_l .

$$V = 5 * \left(\frac{R_l}{R_s + R_l} \right)$$

Ecuación 6.

Reemplazando $R_l=4700$, Despejando R_s ;

$$R_s = 4700 * \left(\frac{5 - V}{V} \right)$$

Ecuación 7.

5. Calcular R_o .

El valor de R_o se calcula sometiendo el sensor a la máxima cantidad de gas posible, en este caso 1000 ppm. El sensor de CO se satura con 1000 PPM, el cual en la figura 30 corresponde a un R_s/R_o de 0.1, y se mide el voltaje máximo, en este caso 2.65v, reemplazando en la ecuación 8, nos da un $R_s= 4167.92$

$$R_o = \frac{R_s}{0.1}$$

Ecuación 8.

Dándonos un $R_o=41679.2$, que se utilizará en el proceso matemático para la solución de la ecuación 1, con lo cual se obtiene los valores de concentración.

Sensor de Formaldehido

1. Se identifica la curva funcionamiento integrada en el datasheet de cada sensor, la cual indica el comportamiento del mismo de manera logarítmica y bajo distintas condiciones de operación.

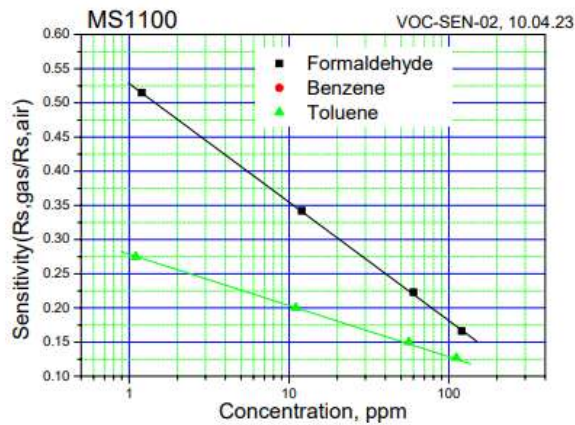


Figura 33. Curva del datasheet CH2O

Para encontrar la ecuación

2. Ingresar los datos de los puntos correspondientes a la curva del CO2 en una tabla, haciendo constar la mayor cantidad de puntos y graficar los mismos en Excel.

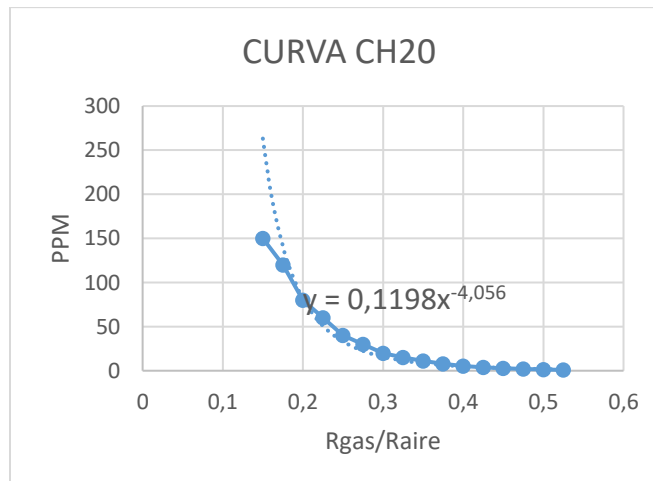


Figura 34. Curva del CH₂O con su ecuación.

3. Se presiona la línea correspondiente a la gráfica y con clic derecho escoger agrega una línea de tendencia potencial, posteriormente en el mismo recuadro que aparece seleccionamos la opción de presentar la ecuación en el gráfico.

La ecuación que se obtiene es la siguiente:

$$CH_2O = 0.1198 * \left(\frac{R_s}{R_o}\right)^{-4.056}$$

Ecuación 9.

Donde:

CH₂O; Valor de la concentración de Formaldehído.

R_o; Constante igual al valor de la resistencia del sensor expuesto a concentraciones máximas.

R_s; Resistencia del sensor dado por el fabricante.

4. Encontrar R_s.

Mediante la ecuación del valor leído se despeja R_s, dicha ecuación es del divisor de voltaje que forma el sensor con la resistencia de carga R_l.

$$V = 5 * \left(\frac{R_l}{R_s + R_l}\right)$$

Ecuación 10.

Reemplazando R_l=2000, Despejando R_s;

$$R_s = 2000 * \left(\frac{5 - V}{V} \right)$$

Ecuación 11.

5. Calcular R_o .

El valor de R_o se calcula sometiendo el sensor a la máxima cantidad de gas posible, en este caso 10 ppm, el cual en la figura 32 corresponde a un R_s/R_o de 0.175, y se mide el voltaje máximo, en este caso 1.4v, reemplazando en la ecuación 12, nos da un $R_s= 5142.85$

$$R_o = \frac{R_s}{0.175}$$

Ecuación 12.

Dándonos un $R_o=29387.71$, que se utilizará en el proceso matemático para la solución de la ecuación 1, con lo cual se obtiene los valores de concentración.

3.3.2. Calibración por comparación.

Para realizar la calibración por comparación se utilizan equipos profesionales comerciales, testeados bajo normas internaciones.

Sensor de Temperatura y Humedad

La calibración del sensor de temperatura y humedad se la realiza comparando valores del Ambient Weather WS-2902, de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, con una resolución de 0.1 grados y del 1% de RH en ambientes internos o externos, este dispositivo es una estación meteorológica que se utiliza como patrón para comparar frente a los valores del sensor DHT 22, con una resolución de 0.1 grados y 0.1% RH.

Éstas muestras van a ser tomadas cada 30 segundos y se verificará el error entre ellas, con esto se calibra el sensor con un valor promedio y se realiza una nueva prueba con muestras tomadas cada minuto, donde se verificará el cambio, teniendo como resultado un sensor calibrado por comparación.

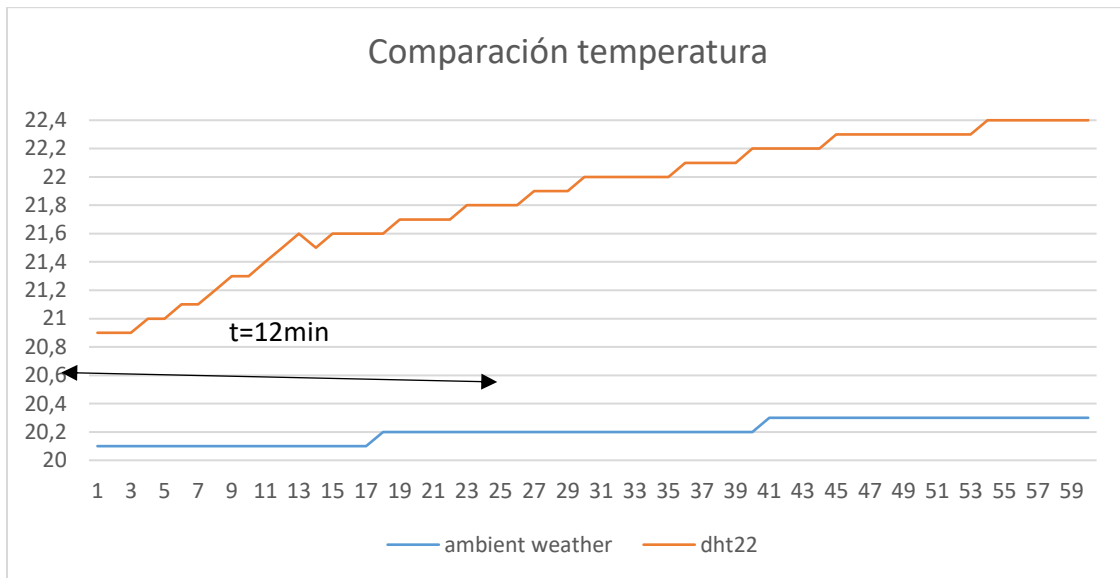


Figura 35. Comparación Temperatura Inicial.

En la figura 35 se puede observar que el DHT22 toma aproximadamente 12 minutos para estabilizarse, posterior a este tiempo efectivamente existe un error entre la lectura del Ambient Weather y el DHT 22, llegando a un valor máximo de error en la lectura de 2.1 grados centígrados de diferencia, por lo que se saca el error de cada muestra y al final un promedio.

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$$

Ecuación 13.

Donde; T_i , es el error de lectura de cada muestra.

n, es el número de muestras tomadas $n=60$

Dando como resultado un valor promedio de temperatura a calibrar de 1.7 grados centígrados, este valor es compensado restando del valor final procesado en la calibración por software.

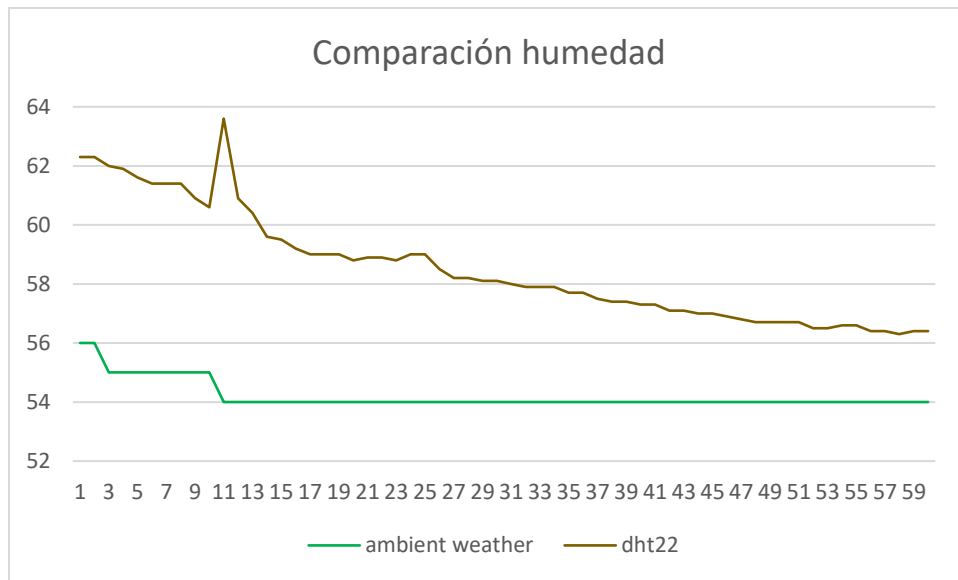


Figura 36. Comparación Humedad Inicial.

En la figura 36 se observa el error del DHT 22, tomando en cuenta un valor máximo de error de 8 unidades, con lo cual se realiza el mismo procedimiento anterior y se saca el valor promedio de humedad a compensar que en este caso sería de 4.3 unidades.

Para compensar estos errores tanto de temperatura como de humedad se lo realiza directamente en la etapa final de la programación, en este caso restando a la temperatura 1.7 grados y a la humedad 4.3.

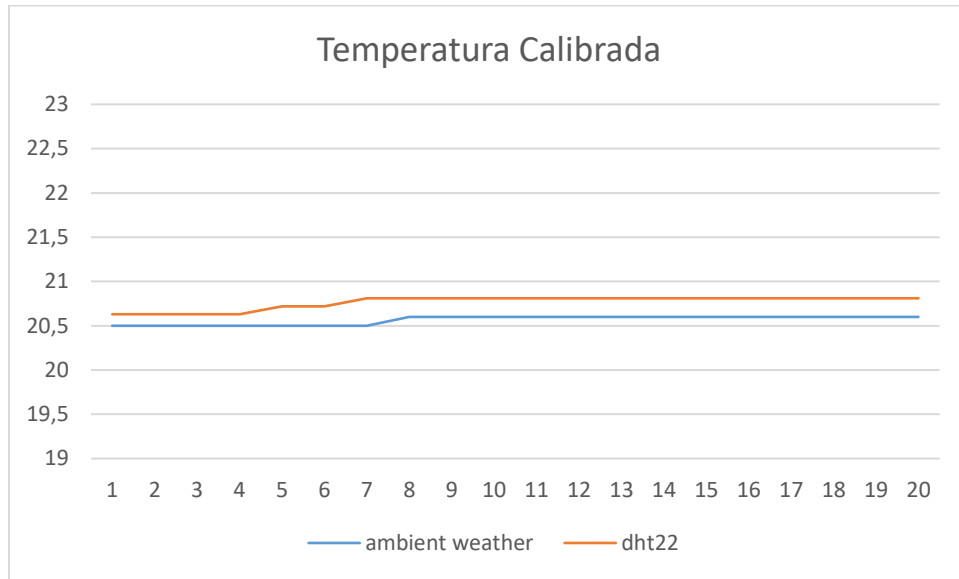


Figura 37. Temperatura Calibrada.

Una vez calibrado el sensor, se realiza una prueba de 20 muestras, cada minuto tanto para la temperatura como para la humedad, dando como resultado errores de hasta 0.25 grados para la temperatura como se muestra en la figura 37 y, de hasta 0.7 unidades para la humedad como se muestra en la figura 38.

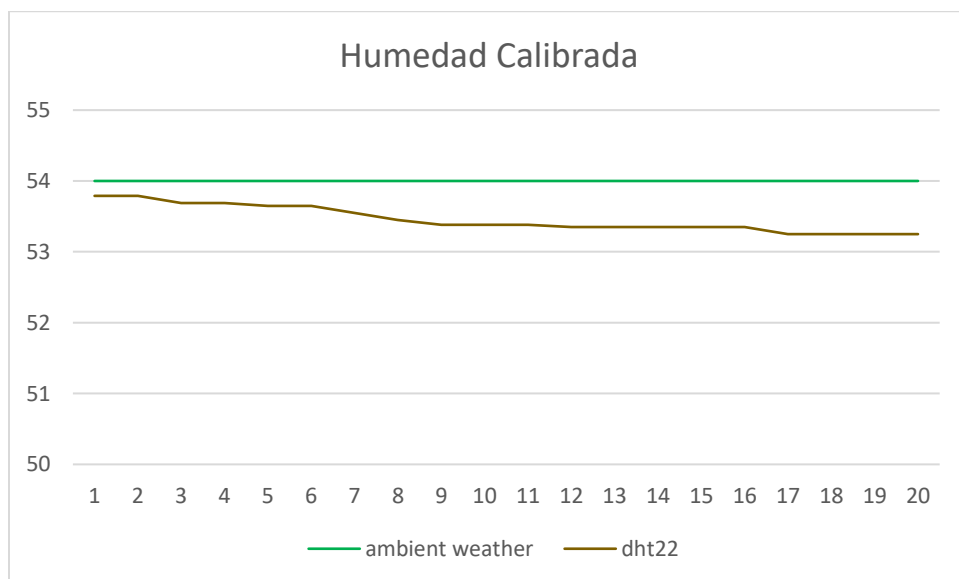


Figura 38. Humedad Calibrada.

En la tabla 36 se muestra el error promedio de lectura final de cada parámetro, para el sensor DHT 22, siendo este de 0.9% para la temperatura y de 1% para la humedad.

Tabla 38.

Porcentaje de error de lectura del sensor dht22.

	Temperatura	Humedad
Error % Sin Calibrar	7.6081%	7.9047%
Error % Calibrado	0.9723%	1.0046%

3.3.3. Calibración por bombonas de gas

Para realizar la calibración por bombonas de gas se debe considerar aspectos como: Modo de monitoreo, tipo de estación, Inicio del rango de detección de los sensores y tipo de sensores utilizados.

Tabla 39.

Características de equipo implementado

Aspectos considerados	Detalle de Equipo implementado
Modo de monitoreo	Por difusión
Tipo de Estación	Fijo
Tipo de Sensores	Electroquímicos
Inicio del Rango de Detección	Desde 0 ppm

En la tabla 35 se indican las características consideradas del dispositivo implementado previo a la calibración de los sensores, tomando en cuenta que los gases a monitorear son: Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, y Oxígeno, de las cuales se posee 3 bombonas diferentes.

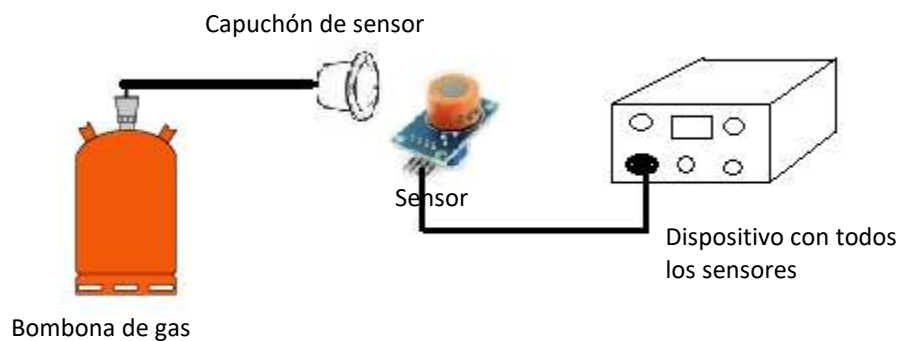


Figura 39. Diagrama general del proceso de calibración.

En la figura 39 se encuentra el diagrama general del proceso de calibración, siendo este el mismo para cada sensor.

Bombona de Aire Cero

El Aire Sintético de Laboratorio o Aire Cero es una mezcla gaseosa incolora e inodora, formada por oxígeno al 20.9% y nitrógeno al 48 Mo. de Alta Pureza. No es inflamable ni tóxico. Este gas sintético se utiliza para los detectores de ionización de llama en cromatografía de gases, para fotometría de llama y absorción atómica, para la calibración de instrumentos y para instrumentación analítica del medio ambiente. (ZERO AIR – Gasco, 2019)

Sensor de Oxígeno

Como paso inicial se encera a los sensores de CO₂ y CO con una botella de aire cero como la que se indica en la figura 40 (de aire cero), y se considera una concentración en interiores de alrededor de 400ppm de Dióxido de Carbono existentes en el aire.

La bombona de aire cero se usa para calibrar el sensor de oxígeno llegando a marcar 20.9%, que es el enceramamiento del oxígeno en la atmósfera, mientras que en los demás gases se logra un enceramamiento de 0ppm.



Figura 40. Bombona de Aire Cero

En cada sensor se usa una capucha que permite propagar el gas desde la bombona sin fugas laterales, esto se realiza sensor a sensor ya que la válvula sólo tiene capacidad para 1 tubo transmisor de gas con su respectiva capucha, como se indica en la figura 41.



Figura 41. Colocación correcta de la capucha con el sensor.

Los resultados obtenidos, para esta primera calibración se muestran en la figura 42.

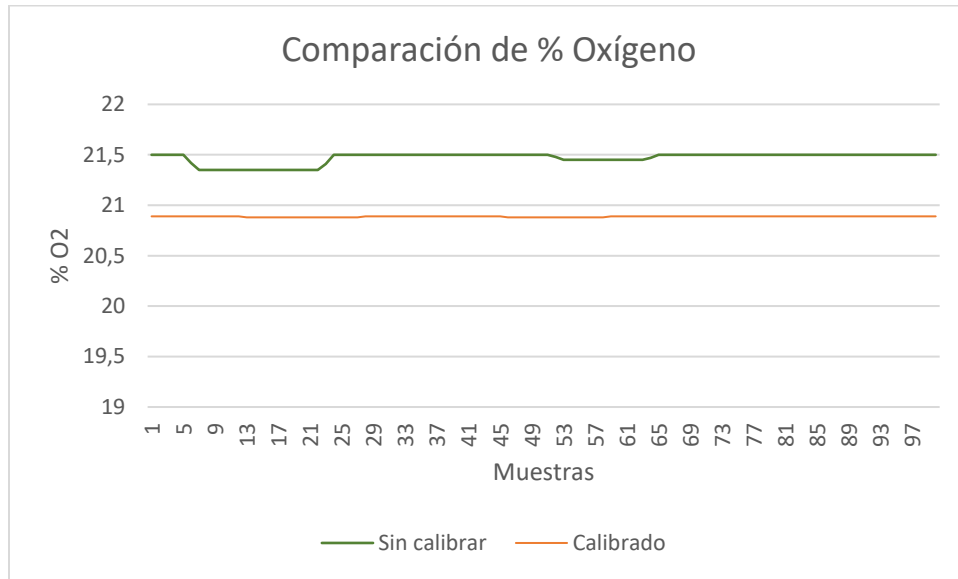


Figura 42. Resultados Oxígeno sin calibrar vs calibrado en 20.89%.

En la figura 42, se observa que el error de lectura del sensor llega a un valor máximo de 1.2 unidades de diferencia, por lo que se saca el error de cada muestra y al final un valor promedio a compensar de 0.57%.

$$\bar{O} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{n}$$

Ecuación 14.

Donde;

T_i , es el error de lectura de cada muestra.

n , es el número de muestras tomadas $n=100$

Para compensar este error de porcentaje de oxígeno, se lo realiza directamente en la etapa final de la programación, en este caso restando a la ecuación 0.57%.

Al realizar las mediciones y después de compensar, se logra obtener una estabilidad de los valores arrojados por el sensor que en promedio llegan a 20.89%, teniendo un error menor al 1%, del valor real, con lo que este valor es aceptable de calibración para las condiciones de trabajo.

Tabla 40.

Porcentaje de error de lectura del sensor ME-02.

	Oxígeno
Error % Sin Calibrar	2.7191%
Error % Calibrado	0.0612%

Sensor de Dióxido de Carbono

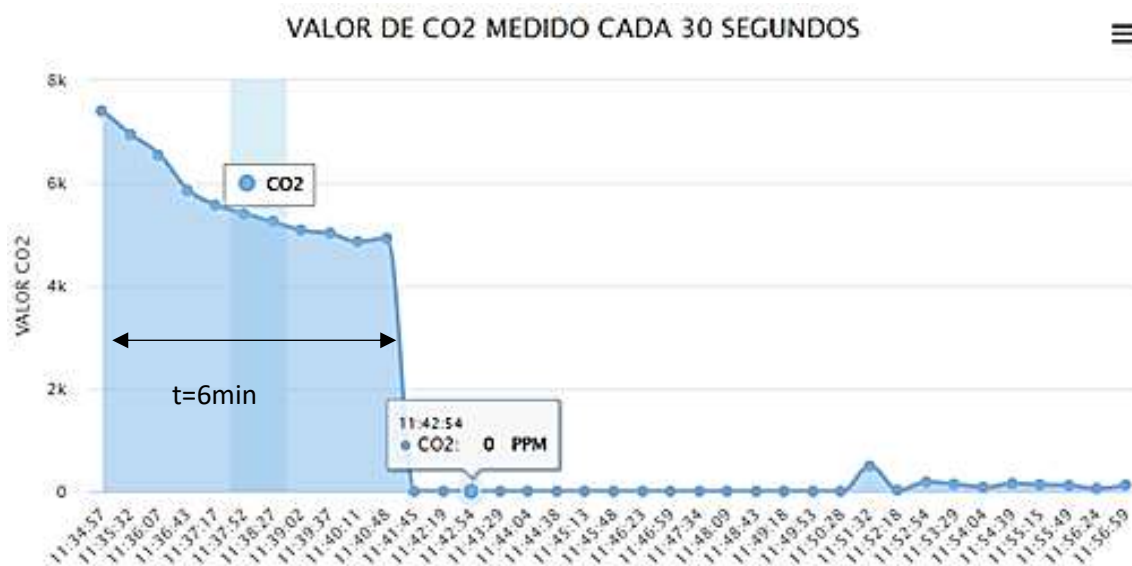


Figura 43. Dióxido de Carbono en 0 ppm.

Al encerrar el sensor de CO₂, se identifica que tiene un tiempo en el cual empiezan a bajar los valores, hasta llegar a cero. En este punto se demora 6 minutos y el valor se mantiene logrado un encerrado y calibración correcta, en el límite inferior sin tener que compensar.

Sensor de Monóxido de Carbono

Para encerrar el sensor de CO, existe un tiempo de reacción de 2 minutos, ya que al monitorear valores muy pequeños en el ambiente como se visualiza en un tiempo t igual a 4 minutos, la caída a cero fue de forma inmediata, como se verifica en la figura 15. Adicionalmente cuando se retira la capucha y se acerca el monóxido de carbono (13:07:59), la reacción es inmediata haciendo una prueba por 7 minutos adicionales, para verificar que no vuelve a bajar a 0 ppm.

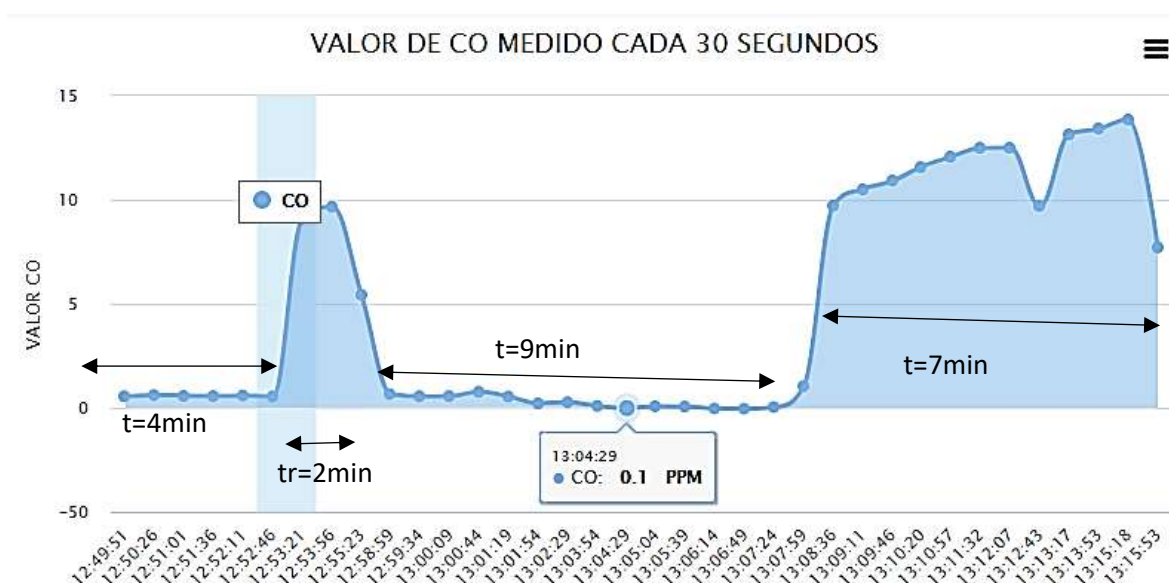


Figura 44. Monóxido de Carbono en 0 ppm.

De igual manera no se presentó inconvenientes por lo que no se debió compensar ningún valor al calibrar el límite inferior de monitoreo de este sensor.

Bombona de Gases varios

La bombona de gas inerte se usa para calibrar el sensor de Dióxido de Carbono y Monóxido de Carbono, logrando en el oxígeno un cero por ciento y, en el Dióxido de Carbono una calibración de hasta 1000PPM, según la cantidad de gas emitido.



Figura 45. Bombona de gas inerte CO₂ a 1000ppm (izq.), bombona de gas CO a 100ppm (drcha.)

Sensor de Oxígeno

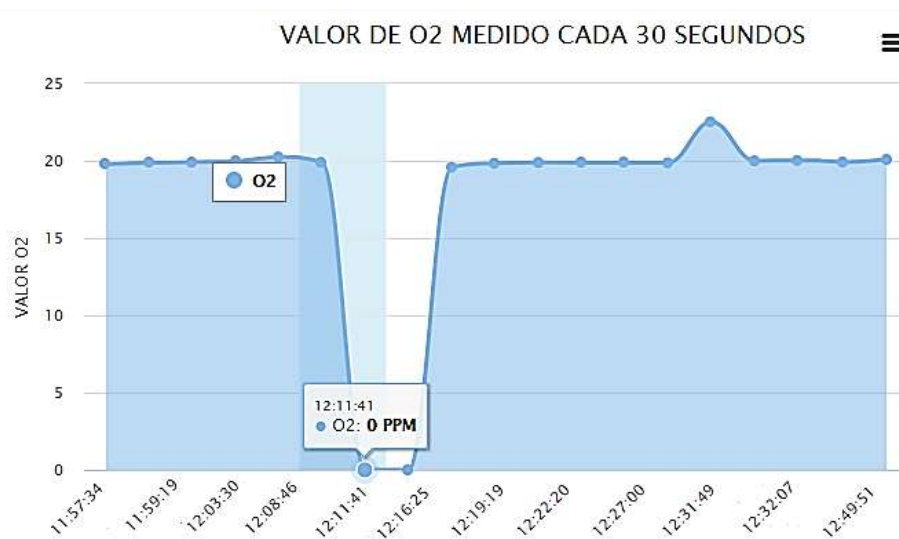


Figura 46. Oxígeno en porcentaje 0.

Una vez emitido el gas inerte desde la bombona en el sensor de oxígeno, como se ve en la figura 46, se verifica que esta baja hasta cero, como debía ser el resultado, logrando un enceramiento

eficaz y comprobando la funcionalidad del mismo, terminando así la calibración del primer sensor sin novedades, y sin compensación para el oxígeno en el límite inferior.

Sensor de Dióxido de Carbono

El gas inerte es el CO₂, correspondiente a 1000 PPM en el etiquetado de la bombona, éste al poner en contacto con el sensor del mismo gas, tiene una variación oscilante notoria al inicio en un tiempo de 6 minutos, y más ligera al final, marcando un valor promedio final 990 PPM, sin embargo, es admisible con un error de lectura máximo del 1%, debido al tipo de sensor, pasando así el test de calibración sin añadir ninguna compensación.

Tabla 41.

Porcentaje de error de lectura del sensor MG811.

	Dióxido de Carbono
Error %	1%

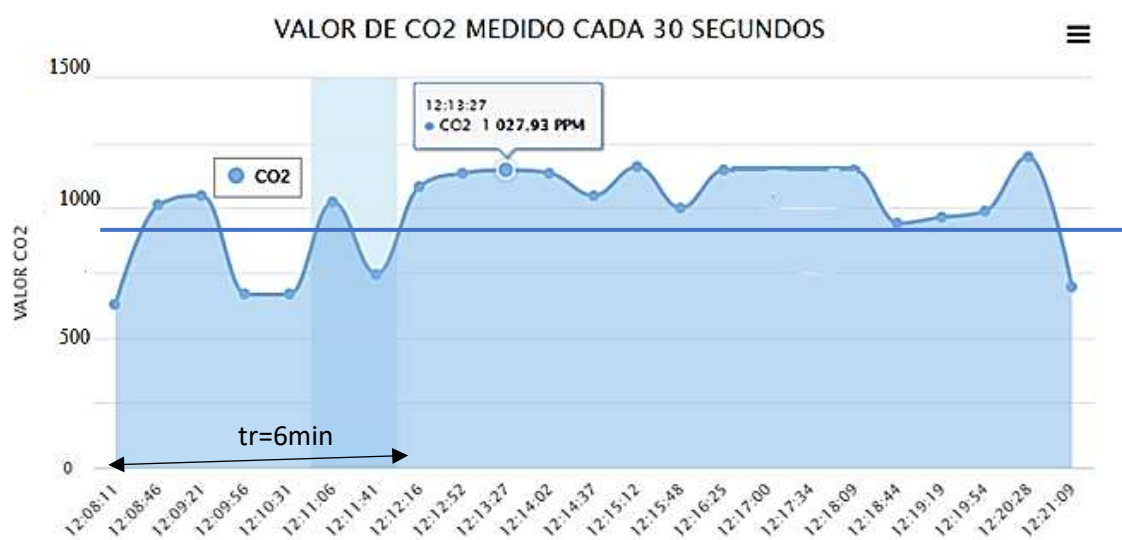


Figura 47. Dióxido de Carbono en 1000ppm.

Sensor de Monóxido de Carbono

Al poner en contacto la tercera bombona de gas CO, con el sensor correspondiente, este reacciona de manera estable, llegando a un valor de 100.4 PPM, en un tiempo de respuesta de 3 minutos, correspondiente a la bombona en prueba, sin demora en la estabilización del mismo, teniendo un error en la lectura de 0.4%.

De igual manera no se compensa ningún valor ya que en el porcentaje de error de lectura está dentro de lo permitido y menor al 1%.

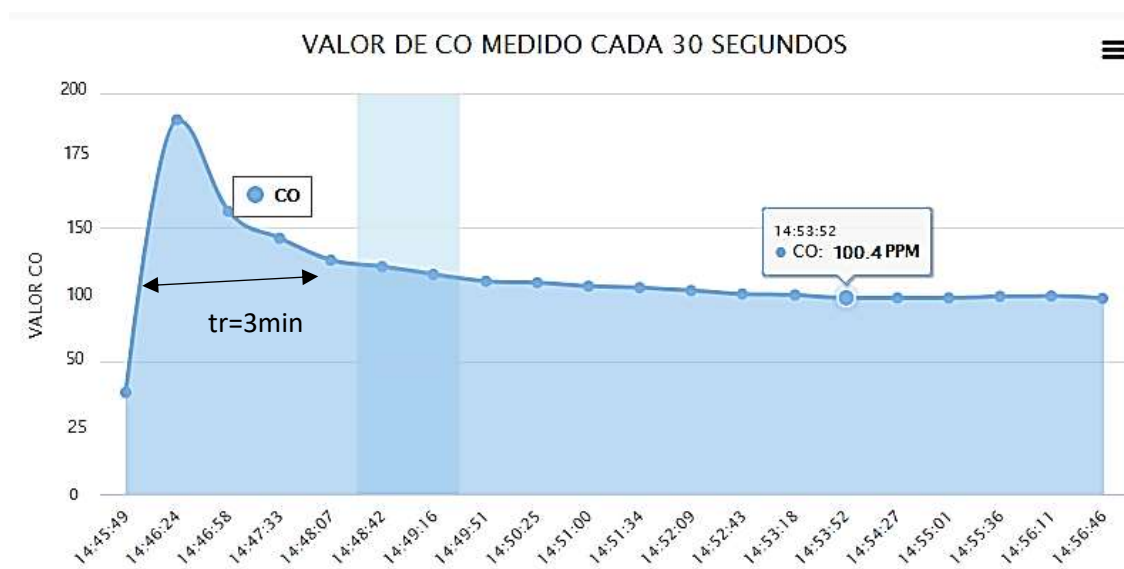


Figura 48. Monóxido de Carbono a 100ppm.

Tabla 42.

Porcentaje de error de lectura del sensor MQ7.

	Monóxido de Carbono
Error %	0.4251%

Una vez que los sensores han sido calibrados se puede iniciar con la medida de los gases, y como el sistema de monitoreo propuesto pretende realizar sugerencias de plantas que podrían mejorar el aire ambiental, es necesario conocer como las plantas seleccionadas absorben CO₂ o producen otros gases. Para ello se pensó en el diseño de una cámara de captación con sensores para las mediciones.

3.4. Diseño e implementación de una cámara de captación de oxígeno y dióxido de carbono.

Para la realización del diseño e implementación de la cámara de sensores fue basado en el estado del arte de las narices electrónicas, donde los sensores suelen ser ubicados en una cámara cerrada con la finalidad de que las partículas de gas se concentren en un espacio y se facilite la adquisición de datos, ideal para determinar el aumento o disminución de ciertos gases, evitando la pérdida de información. (Moreno & Serracín, 2016).

3.4.1. Metodología a utilizarse

Para la selección de materiales de la cámara, se utiliza el método conocido como Materiales de Ingeniería de partes similares, este método sirve para seleccionar el material adecuado, en base a la experiencia de partes que tienen funcionamiento similar y que se ha demostrado un gran desempeño de resultados. (Vallejo, 2017)

Para la aplicación de la metodología se debe constatar el cumplimiento de parámetros iniciales como:

Función

La cámara de sensores debe captar la cantidad de oxígeno y dióxido de carbono que genera una planta en un determinado tiempo de prueba.

Objetivo

El material a utilizar no debe absorber o emitir sustancias, ni olores, evitando así ser contaminado por agentes externos.

Limitantes

Disponibilidad de material en el mercado nacional, facilidad de manufactura, costo de materia prima y elaboración, robustez.

Variables

Dimensiones y dureza y durabilidad.

Finalmente, para la aplicación de este método se debe tomar en cuenta:

- Materiales utilizados en similares condiciones y probados previamente proveen seguridad al diseñador.
- Las características fundamentales del material que se ha utilizado previamente ya han sido estudiadas y por tanto no es necesario la realización de otros análisis.

Tabla 43.

Materiales usados en cámaras de concentración.

Material	Características	Observaciones
Polímeros, plástico ABS de impresión 3D o PET Polímero Biodegradable	Robustez, herméticos, Disponibilidad en el mercado, Facilidad de manufactura.	Alto costo de implementación.
Vidrio	Hermético, no absorbente, fácil manufactura	Bajo costo de implementación y CONTINUA

		movilización moderada.
Cerámica	Resiste altas temperaturas.	Material Frágil, no usado en aplicaciones electrónicas
Madera - Ceibo	Robustez, durabilidad, dureza, Facilidad de manufactura.	En el mercado Nacional prohibida la explotación, por ser una especie protegida.
Metales - Acero	Herméticos, disponibilidad en el mercado, facilidad de manufactura.	Alto costo de implementación.

Fuente: Fundamentos de la nariz electrónica

3.4.2. Dimensiones

Se determina la geometría de la cámara de sensores, tomando en cuenta que no debe estar ventilada, es decir debe ser hermético, con la finalidad de mantener la información de las variables al respecto del organismo vegetal que se encuentra dentro.

Al ser un recipiente que no va a estar sometido a bruscos cambios de temperatura, humedad o presión, se calcula el espesor de acuerdo al peso máximo que se desee obtener, según la ecuación 1 y 2.

Tabla 44.

Parámetros de la cámara de concentración de CO₂ y O₂.

Parámetro	Valor
capacidad	36000cm ³
h: altura	50cm
l:Longitud	30cm
a:Ancho	30cm
d:Densidad del vidrio	2.5 g/cm ³
p:Peso aproximado deseado	2000gr
e:Espesor de la cámara	-

$$d = \frac{p}{v} = \frac{p}{l * h * e}$$

Ecuación 15.

Despejando

$$e = \frac{p}{l * a * d}$$

Ecuación 16.

$$e = \frac{2000}{30 * 50 * 2.5}$$

$$e = 0.53 \text{ cm} \approx 0.6 \text{ cm}$$

Es decir que el espesor del vidrio usado para la cámara de sensores es de 0.6cm disponible en el mercado.

3.4.3. Ubicación de los Sensores

La densidad de cada gas se presenta a continuación como:

- Oxígeno: 1,14 g/ml
- Dióxido de carbono: 1,5 g/ml

Al ser el dióxido de carbono más pesado, se debe colocar en la parte inferior de la cámara, y el sensor de oxígeno en la parte superior.

3.4.4. Ambiente de prueba y monitoreo

Variación de Gas

Para esta definición de cantidad de gases producidos por cada planta, se define la medición de Dióxido de carbono y oxígeno, cada uno con su respectivo sensor.

Variables Ambientales

De igual manera para una mejor toma de datos se mide Temperatura y Humedad.

Bosquejo del prototipo

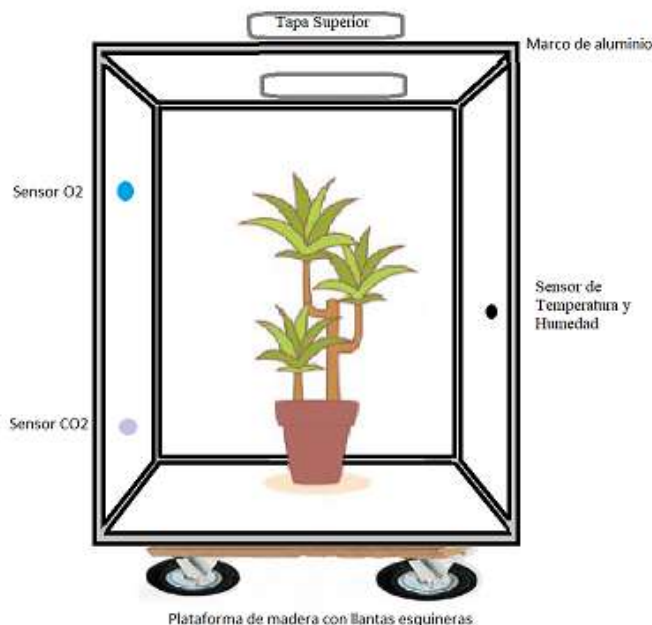


Figura 49. Prototipo de la cámara de CO₂ y O₂.

3.5. Análisis del monitoreo de las Plantas (justificación de su uso)

3.5.1. Prueba 1: Prueba con la cámara vacía herméticamente y una vela encendida

El objetivo de esta prueba es verificar si los niveles de Dióxido de Carbono y Oxígeno cambian conforme pasa el tiempo y la vela se apaga. Comprobando su hermeticidad y el aumento del gas producto de la combustión.

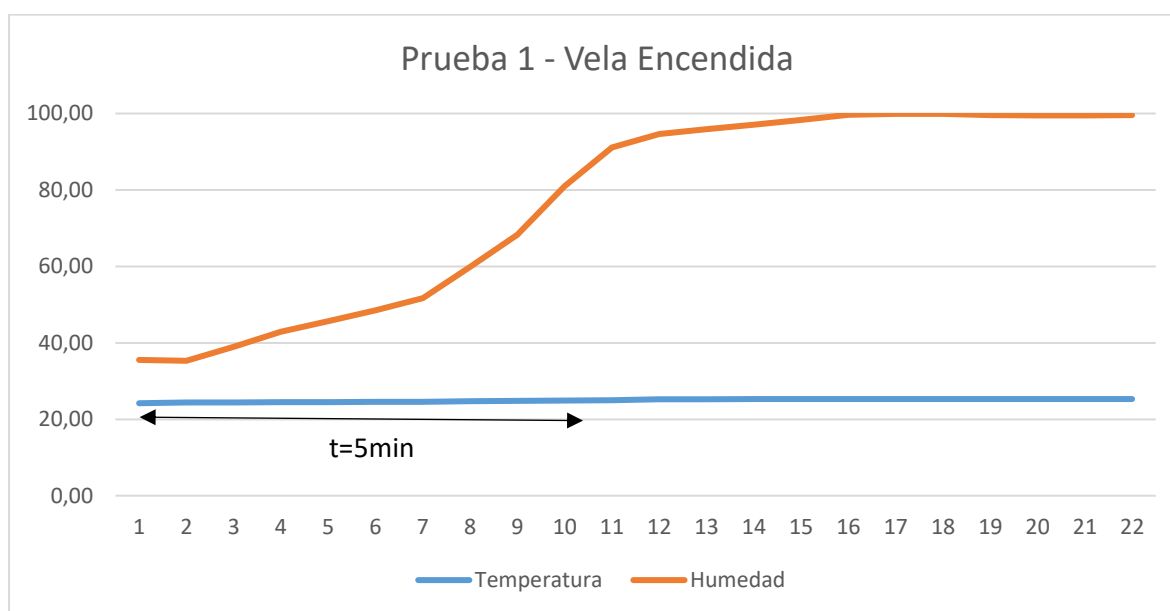
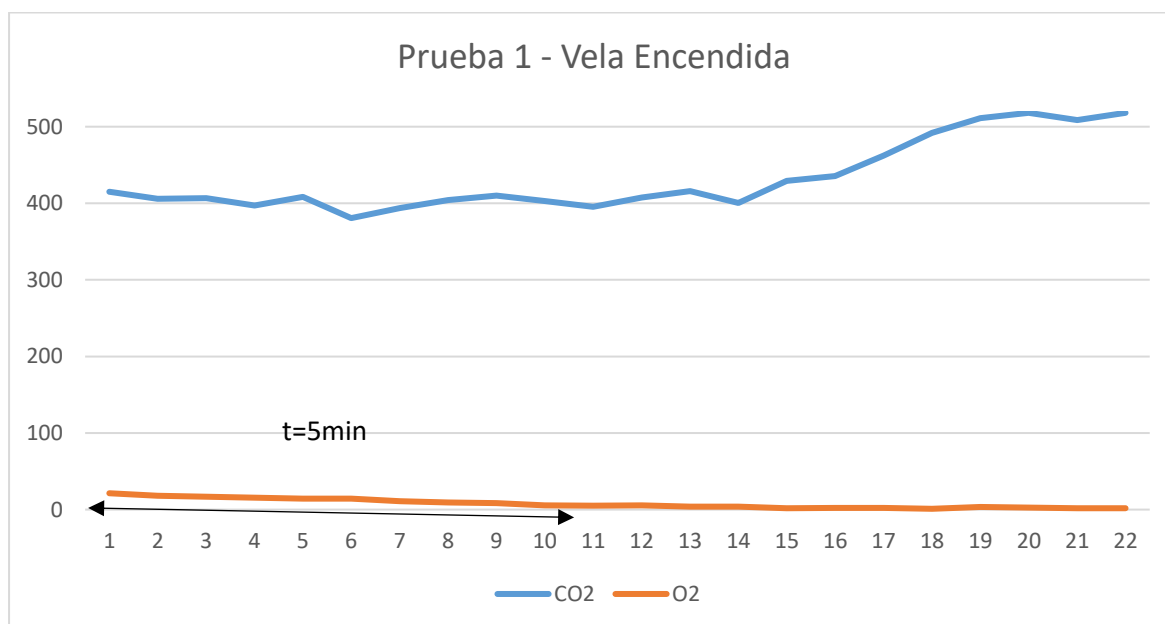


Figura 50. Prueba 1.

De la figura 50 se puede identificar que la caja se encuentra totalmente hermética ya que al ingresar una vela encendida y cerrar la caja, esta después de aproximadamente 5 minutos se apaga por falta de oxígeno dentro de la misma, en ese instante la humedad sube a su máximo valor por la

condensación de las partículas internas, además de subir la producción de CO₂, por la combustión interna que se mantuvo en la quema de la vela.

3.5.2. Prueba 2: Prueba con la cámara vacía herméticamente

El objetivo es encontrar una línea base con la cual comparar al realizar las distintas pruebas.

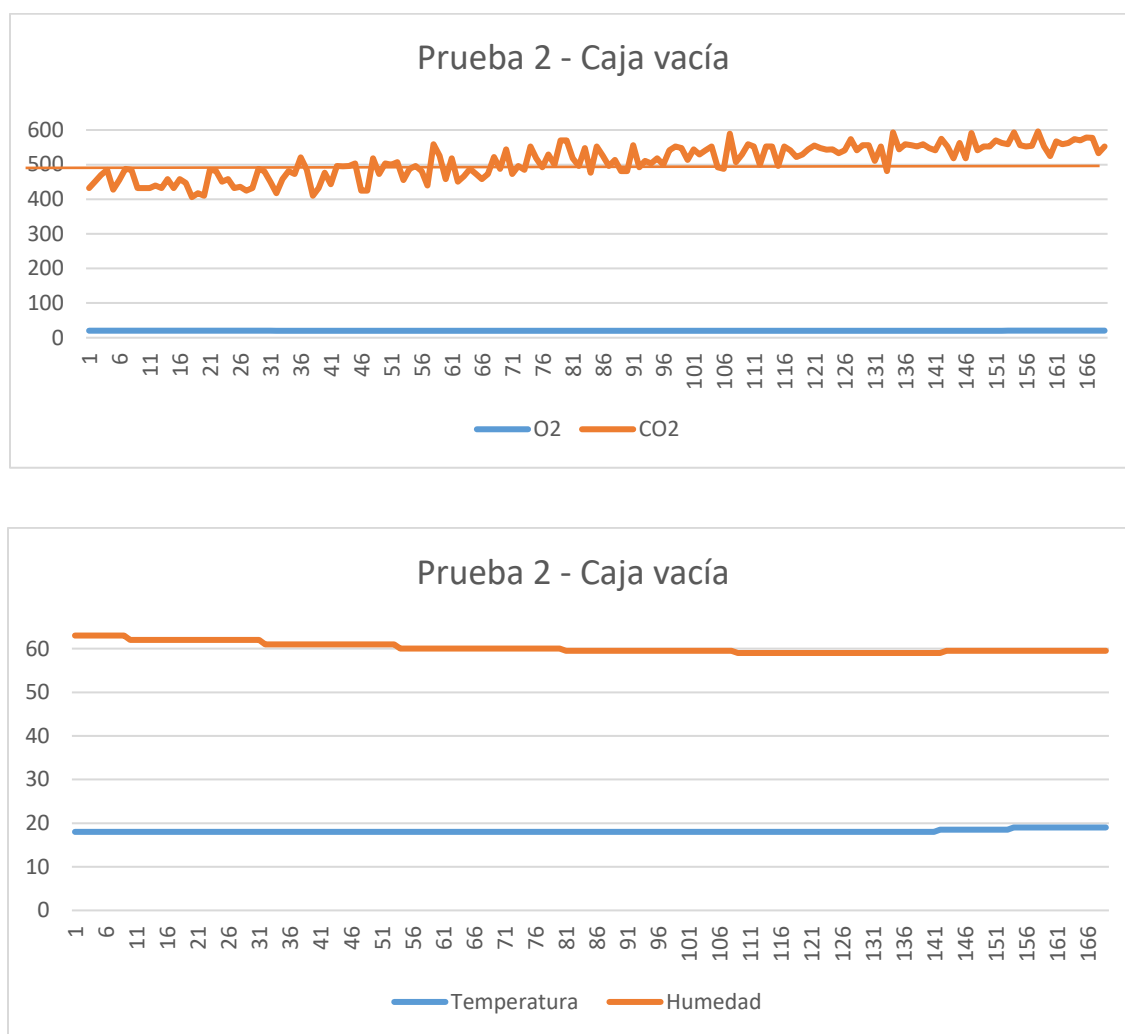


Figura 51. Prueba 2.

De la figura 51 se puede identificar que antes de cualquier monitoreo dentro de la caja existen valores promedios de gases presentes en el ambiente, como es del CO₂ con un promedio de 480 ppm, O₂ con un porcentaje de 20.8, Temperatura de 19 grados centígrados y Humedad relativa de 60.

Existe una extraordinaria diversidad de plantas, algunas simples, y otras evolucionadas. Forman parte de todos los ecosistemas, además se han adaptado a diversos climas y condiciones del suelo. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, 1996)

Si bien todas las plantas absorben el dióxido de carbono y liberan oxígeno, algunas además absorben los químicos contaminantes del aire. (Pedraza, 2015)

La fitorremediación hace uso de plantas para limpiar ambientes contaminados, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos. La fitorremediación frente a otros procesos de descontaminación tiene un bajo costo. (Romero, 2017)

Los organismos vegetales (plantas) además de decorar y establecer un ambiente agradable, la vegetación absorbe Dióxido de carbono (CO₂) y libera oxígeno (O₂), mantiene la temperatura ambiente, limpia el aire de sustancias contaminantes y su capacidad adquisitiva es alta debido a su bajo costo y variedad.

La primera lista de plantas de interior que filtran el aire fue anunciada por la NASA en 1989 y contenía más de veinticinco especies distintas que eran utilizadas para limpiar el aire en las estaciones espaciales y se detallan en la tabla 7.

Tabla 45.

Plantas biopurificadoras: características de purificación y necesidades.

Nombre Científico	Características de Purificación	Exigencias
Drácena (Dracaena marginata)	Absorción químicos de pinturas, humo de cigarrillo y gases de los tubos de escape.	Abundante luz y poca agua.
Palma areca o bambú (Dypsis lutescens)	Excelente Humidificador.	Espacios amplios
Gerbera o margarita africana (Gerbera jamesonii)	Removedor de químicos de tintas, pinturas, solventes y humo de cigarrillo.	Abundante luz y agua.
Hiedra común (Hedera helix)	Removedor de alérgicos, sobre todo moho.	Abundante luz y agua.
Helecho (Nephrolepis exaltata 'Bostoniensis')	Filtra Químicos de cosméticos y desinfectantes, además de ser humidificador.	Poca luz y abundante agua.
Aglaonema modestum	Absorbente de Químicos	Poca luz y agua.
Orquídea mariposa (Phalaenopsis)	Absorbente de Químicos de bolsas de plástico y tapizados.	Poca luz, Abundante humedad.
Philodendron	Filtra Químicos de cosméticos, productos de limpieza y pegamentos.	Poca luz y agua
Cintas (Chlorophytum comosum)	Removedor de químicos liberados por aparatos que funcionan a gas.	Poca luz y agua
Espatifilio ó Lirio de la paz (Spathiphyllum 'Mauna Loa')	Eliminación de esporas de moho, formaldehido y trocloretileno.	Poca luz, Abundante humedad.
Lengua de tigre (Sansevieria trifasciata 'Laurentii')	Absorbente de toxinas de los productos de cuidado personal.	Abundante humedad.
Azalea (Rhododendron simsii)	Filtra químicos de los materiales de construcción como espuma de poliuretano y madera contrachapada.	Ambiente fresco de 15 grados.
Ficus benjamina	Absorción de químicos como lacas para muebles y alfombras.	Espacios amplios.
Crisantemos (Chrysanthemum morifolium)	Filtran amoniaco, químico que se encuentra en os desechos de origen animal y productos de limpieza.	Espacios amplios.
Aloe vera (Aloe barbadensis)	Aumenta el nivel de oxígeno.	Poca luz y agua.

3.5.3. Prueba 3: Prueba de monitoreo con 3 tipos de plantas

El objetivo es visualizar los cambios producidos en los valores de los sensores evidenciando una producción o disminución de Oxígeno o Dióxido de Carbono, con la planta 1 de tipo ESPATIFILO, 2 de tipo DRACENA y 3 de tipo CINTAS en 8 horas de monitoreo continuo, dentro de la cámara de sensores.

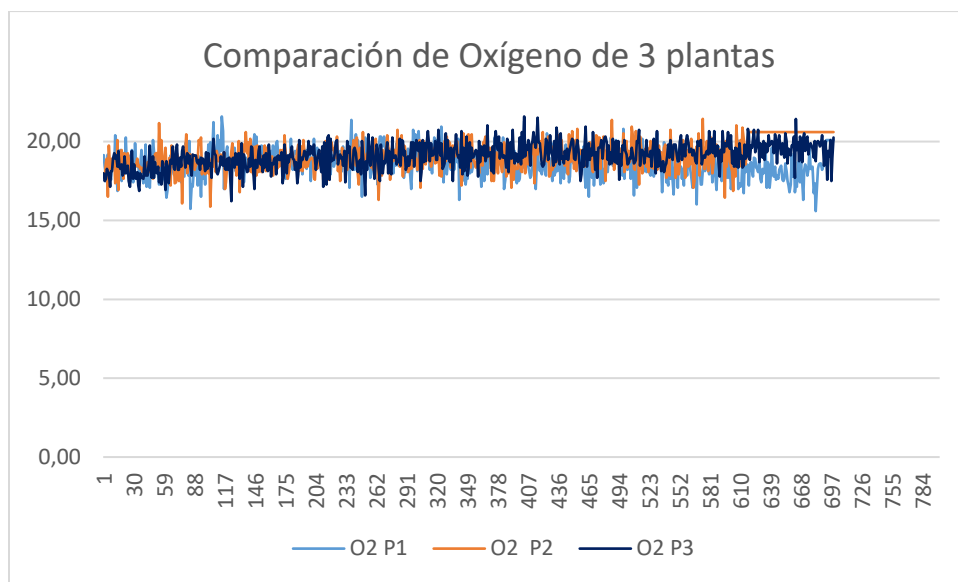


Figura 52. Comparación de Oxígeno.

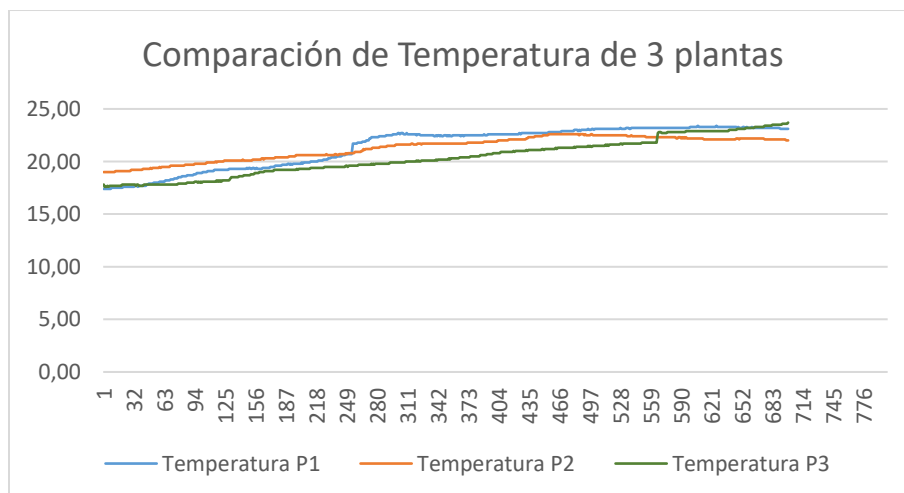


Figura 53. Comparación de Temperatura.

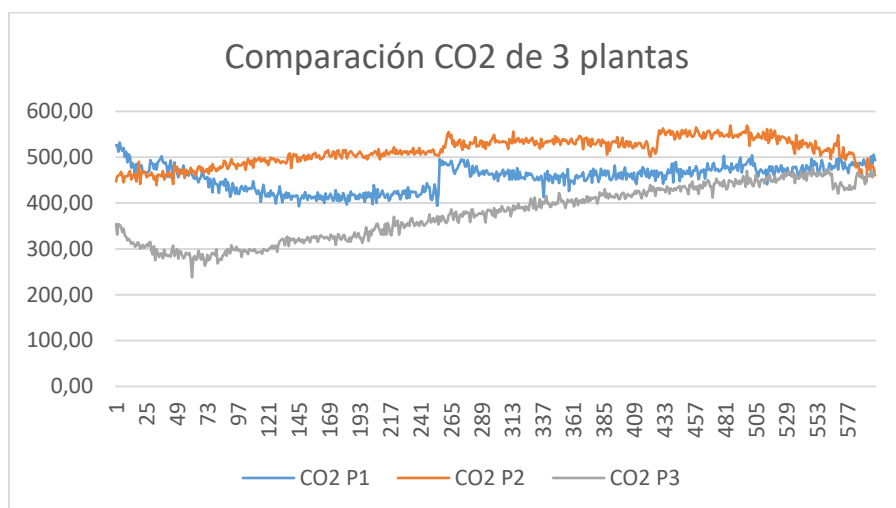


Figura 54. Comparación de CO2.

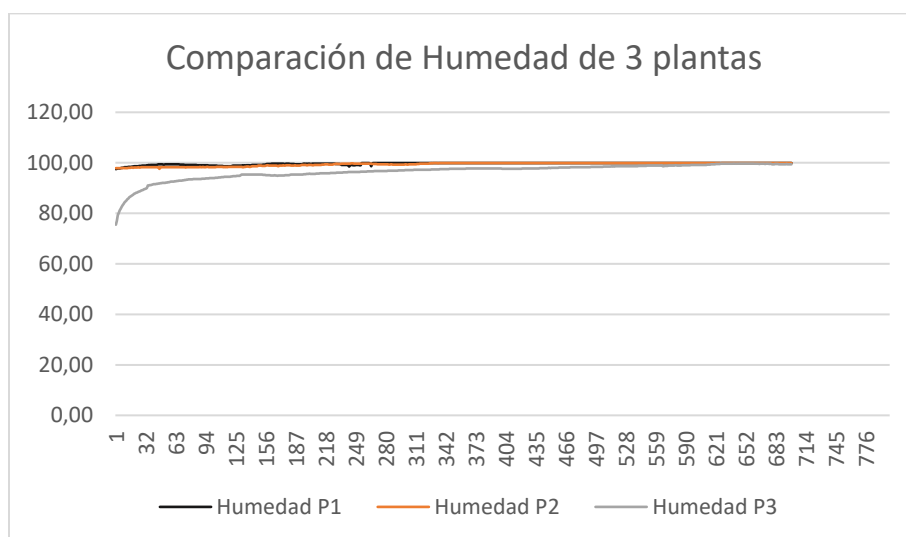


Figura 55. Comparación de Humedad.

En la tabla 46 se muestran los valores comparativos de respiración entre las tres plantas seleccionadas.

Tabla 46.

Valores promedio de respiración de las plantas.

Planta	Dióxido de Carbono	Oxígeno	Temperatura	Humedad	Aumento	Disminución
BASE	480 ppm	20.8%	19 C	60	-	CONTINUA

P1 ESPATIFILO	485 ppm	20.6 %	20 C	100	CO ₂ , h y t	O ₂
P2 DRACENA	500 ppm	20.85 %	19 C	100	CO ₂ , O ₂ y h	
P3 CINTAS	400 ppm	20.9 %	20 C	99	O ₂ , t y h	CO ₂

Una vez realizadas las pruebas de respiración de las plantas y analizando los estudios previamente realizados por instituciones educativas a nivel mundial, entre ellas la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Pedraza, 2015), Universidade Da Coruña (FISAPLANT, 2016), entre otras, se determina que las cintas, son las que menos gas inerte emiten con un promedio de 400 ppm vs una dracena que produce 500 ppm, en el proceso de fotosíntesis además de ser las más fuertes en ambientes extremos ya sea por falta de agua o luz. Siendo de esta manera la ideal para la prueba con el sistema.

Las investigaciones de la NASA e investigaciones académicas (Pedraza, 2015) que hablan acerca de la contaminación en interiores realizados, desde 1989 hasta 2016, recomiendan de 15 a 18 plantas vegetales para purificar el aire en una casa de 150 m².

Dando como resultado una aproximación de una planta de 15cm de alto, por cada 9 m² de área. (Pereira, 2016). Por lo que al realizar la prueba en un área de 36m², se estable un máximo de 4 plantas dentro del lugar monitoreado, y la relación para otras áreas podría ser;

Tabla 47.

Estimación de número de plantas según el área.

Área	Número de organismos vegetales ideales
150m²	18 plantas
100m²	12 plantas
50m²	6 plantas

CONTINUA

25m2	3 plantas
10m2	2 plantas
5m2	1 planta

3.6. Diseño de Hardware

En el diseño del hardware se toma en cuenta, los recursos a utilizar de la tarjeta procesadora, la figura 59 muestra el diagrama de bloques del sistema de monitoreo en general.

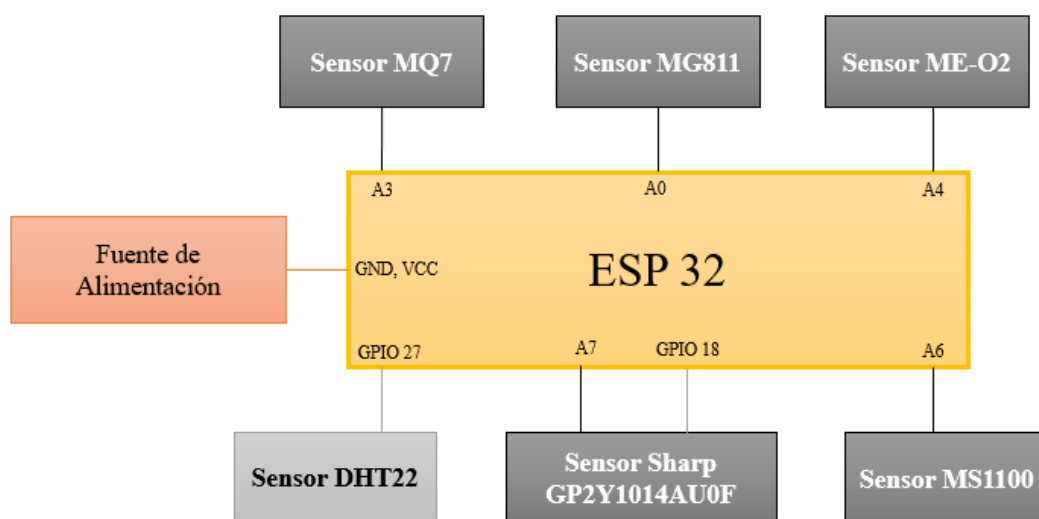


Figura 56. Diagrama de bloques general.

En la figura 60 se muestra las conexiones de los sensores y módulos a la tarjeta ESP32.

Tabla 48.

Definición de pines para tarjeta ESP32.

Módulo	Alimentación	Referencia pines Análogo	Referencia pines Digital
Sensor MG811		AO – GPIO36	
Sensor MQ7		A3 – GPIO 39	CONTINUA

Sensor MS1100	Fuente 5v	A6 – GPIO 34
Sensor ME2-O2		A4 – GPIO 32
Sensor DHT22		GPIO 27
Sensor Sharp 1014		A7 – GPIO 35 GPIO 18

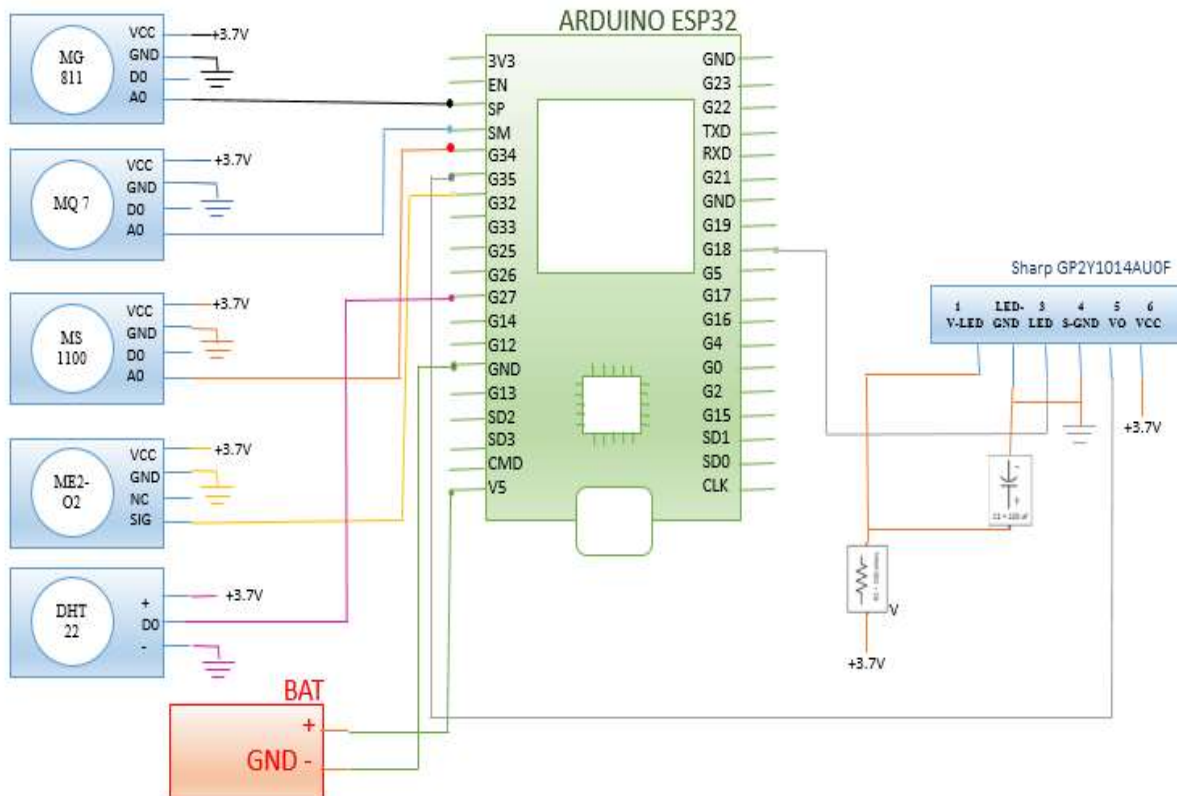


Figura 57. Conexión de los sensores a la tarjeta concentradora.

Los módulos que monitorean gases permiten obtener valores de concentraciones de gas presentes en el ambiente a través de una señal analógica. Es necesario realizar conversiones de la señal analógica obtenida a una señal de voltaje, tomando en cuenta la alimentación (0-5v) y la resolución dada por la tarjeta procesadora, en este caso al utilizar una ESP32, cuenta con una resolución de 4096 (12 bits), por lo tanto, la conversión analógica a digital sería a través de la ecuación 17.

$$2^{12} = 4096$$

$$\text{float VoltajeSensor} = \frac{\text{Sensor} * 5}{4096};$$

Ecuación 17.

3.7. Diseño de Software

Para el funcionamiento del sistema, el hardware necesita de un software en la programación de la tarjeta de desarrollo, base de datos y servidor web.

3.7.1. Diseño de Arduino IDE

El software Arduino de código abierto (IDE) permite la escritura del código, y la subida del mismo a la placa ESP32, facilitando el programar los microprocesadores Atmega328.

Arduino posee una herramienta llamada monitor serial, que muestra el resultado del programa que se ha realizado, haciendo una impresión por puerto serie, siempre y cuando éste se encuentre conectado al computador, siendo esta una de las herramientas más importantes incorporadas al Arduino IDE.

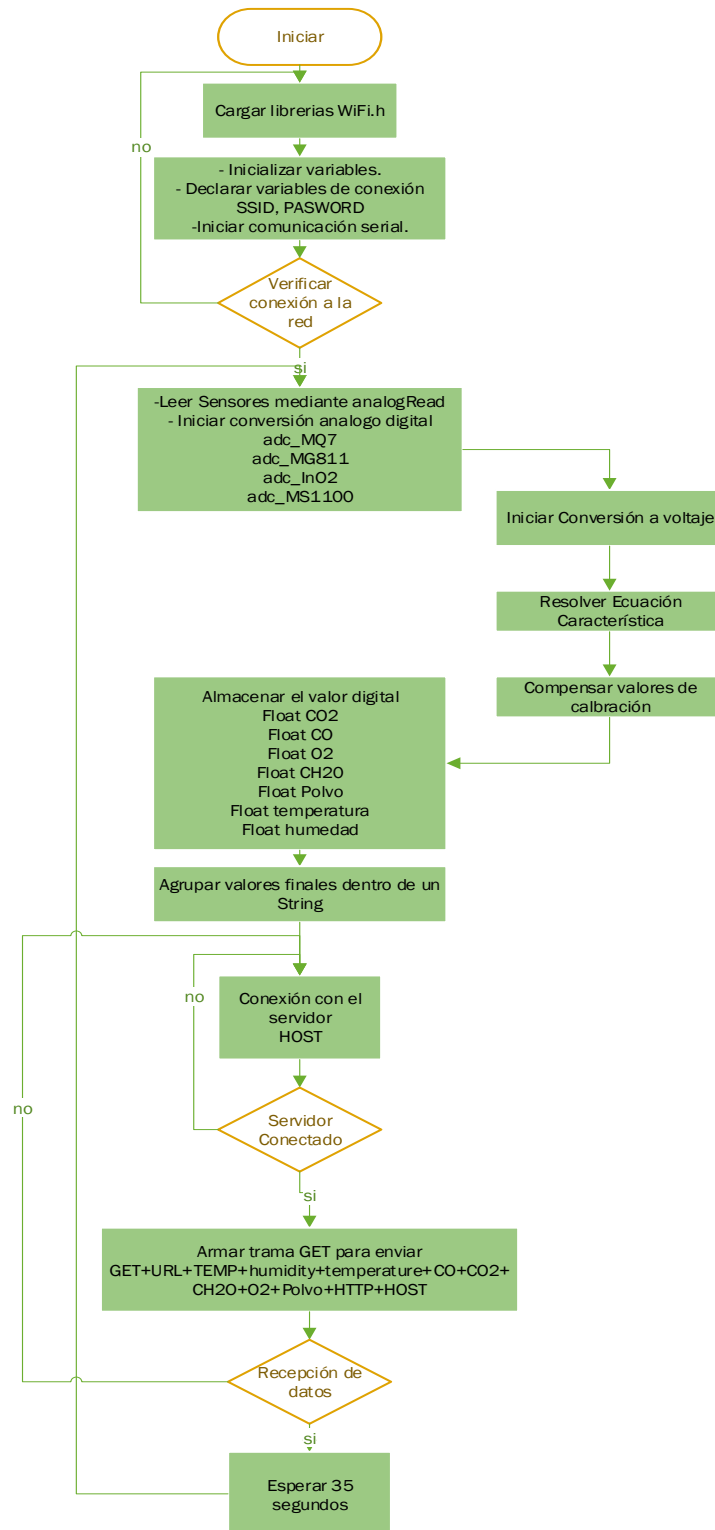


Figura 58. Diagrama de flujo, módulo Wi-Fi.

3.7.2. Diseño de la base de datos.

Para el diseño de la base de datos se crean tablas, que contienen variables las cuales son responsables de guardar los diferentes valores digitales obtenidos por los sensores, además de almacenar usuarios, y detalles de cada uno de los datos tomados. A continuación, se presenta el diagrama de entidad relación.

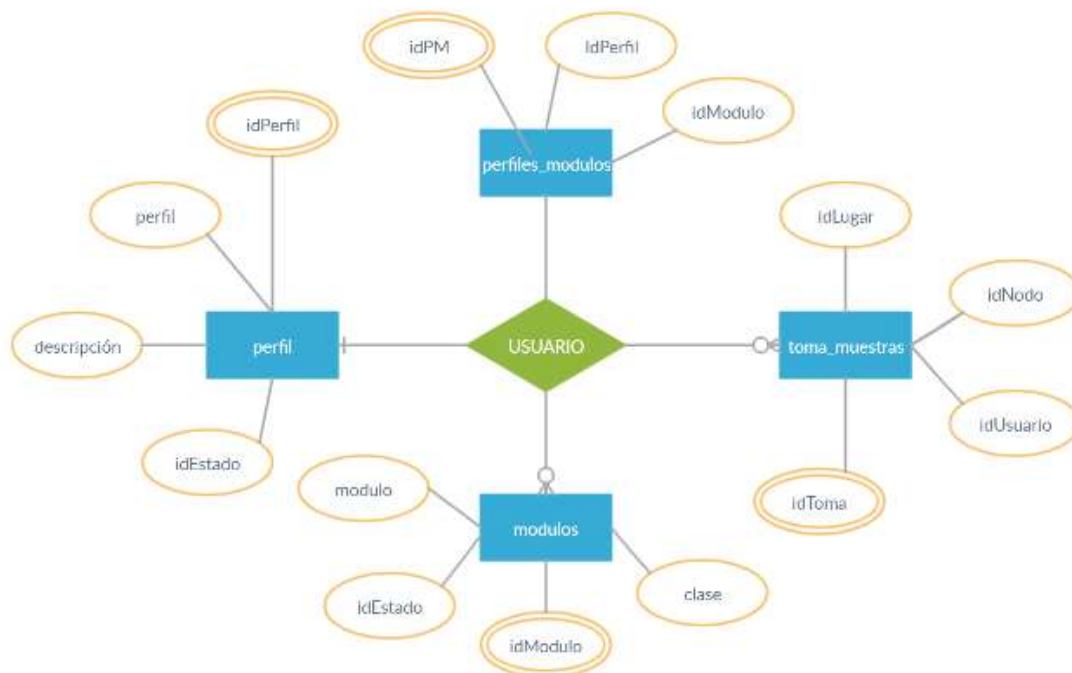


Figura 59. Diagrama de entidad relación de la base de datos.

El objetivo de realizar un diagrama de entidad-relación, es permitir representar las entidades relevantes del sistema de monitoreo, así como sus interrelaciones de una tabla con otra, y las características particulares de cada una.

Para la comprensión de la estructura de la base de datos se detalla las tablas más importantes creadas y su propósito respectivo.

Tabla 49.*Detalle de la tabla alertas.*

Tabla	Variables contenidas	Tipo de dato
alertas	idAlertas	Int(3)
	idGas	Int(3)
	alerta	Varchar(30)
	idValor	Int(3)
	valor	float
	cantidad	Int(3)
	ruta	Float
	recomendaciones	Text
	descripcion	Text

La tabla alertas, trabaja con los valores máximos y mínimos de cada gas monitoreado, además de tener las recomendaciones y descripción de las alertas según la medición de los resultados.

Tabla 50.*Detalle de la tabla lugar_lectura.*

Tabla	Variables contenidas	Tipo de dato
Lugar_lectura	id	Int(11)
	lugar	Varchar(100)
	area	Varchar(20)

En la tabla lugar_lectura el id asigna incrementalmente un número según la cantidad de lugares que se ingrese como administrador al monitoreo y el área se refiere a un número que corresponde a los metros cuadrados en los cuales se está trabajando.

Tabla 51.*Detalle de la tabla nodos.*

Tabla	Variables contenidas	Tipo de dato
nodos	idPerfil	Int(11)

CONTINUA

perfil	Varchar(45)
descripcion	Text
idEstado	Int(5)

La tabla perfil, define el rol de cada usuario uno de administrador y otro de operador, con la posibilidad de crear más perfiles.

Tabla 52.

Detalle de la tabla usuario.

Tabla	VARIABLES CONTENIDAS	Tipo de dato
Usuario	idUsuario	Int(11)
	usuario	Varchar(45)
	password	Varchar(45)
	nombre	Varchar(70)
	idPerfil	Int(3)
	idEstado	Int(5)
	sesion	Int(5)

Si se tiene la tabla perfiles y módulos se puede crear usuarios, la tabla usuarios son las personas que pueden visualizar el monitoreo.

Tabla 53.

Detalle de la tabla tabla_sensor.

Tabla	VARIABLES CONTENIDAS	Tipo de dato
Tabla_sensor	id	Mediumint(11)
	Fecha	Date
	Hora	Time
	Humidity	Float
	Temperatura	Float
	CO	Float
	CH2O	Float
	Polvo	Float
	O2	Float
	CO2	Float
	IdToma	Int(3)

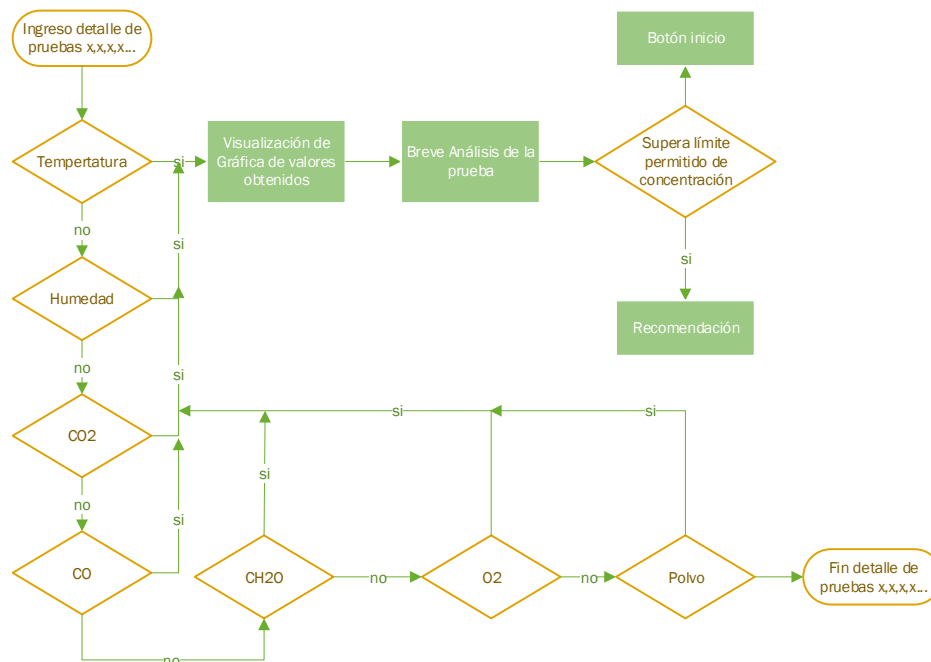
En la tabla_sensor se suben los array de los datos de siete sensores utilizados, además de datos importantes como lugar y fecha del monitoreo.

3.7.3. Diseño aplicación Web

Una aplicación web es una herramienta que se puede manejar accediendo a un servidor web por medio de la Internet mediante un navegador.

Todas las aplicaciones web son afines con el almacenamiento de datos en la nube, y la visualización de estos en dispositivos informáticos en cualquier momento, sin tener que distribuir e instalar un software.

Para el desarrollo del sistema de monitoreo se escogió un portal para aplicaciones web, debido a que este es una página web que incluye visualización desde dispositivos móviles y computadores, es similar a un sitio web normal, pero el diseño contempla pantallas más pequeñas manteniendo el formato de los contenidos, teniendo como ventaja principal una navegación más cómoda.



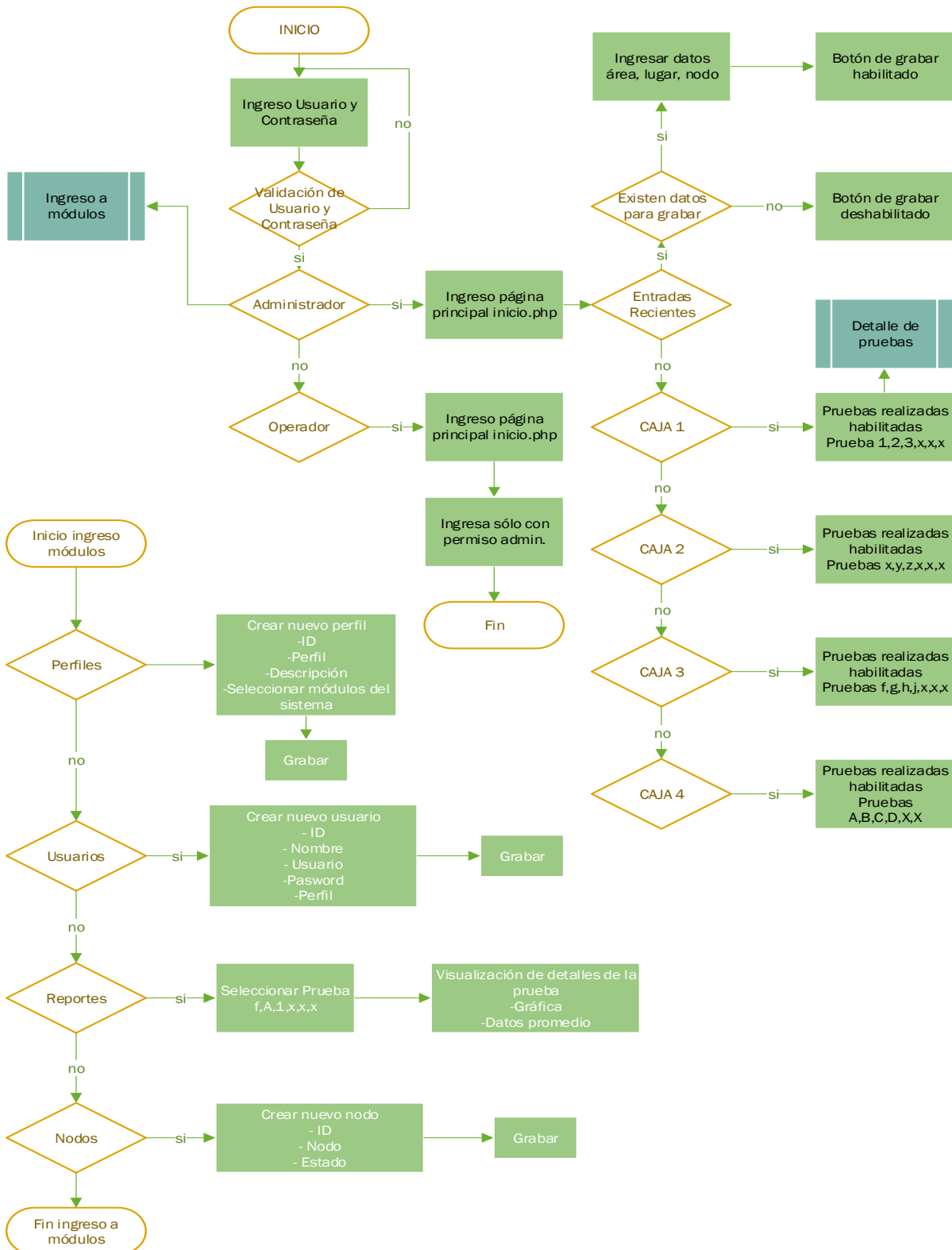


Figura 60. Diagrama de flujo de la aplicación Web.

Diseño de la aplicación

Como primera pantalla se tiene el ingreso mediante un usuario y una contraseña, tomando en cuenta que únicamente existen dos tipos de usuarios administrador y operadores.

Iniciada la sesión, se muestra la página principal que posee botones de los nodos o cajas activas además de las entradas recientes o muestras del momento.

Al ingresar al botón entradas recientes se muestra un formulario que consta de hora, lugar, fecha y área de la cual se realiza la toma. Una vez realizada la toma se procede a llenar los campos y a guardar el registro.

Al ingresar al botón de cada uno de los nodos o cajas, se muestran todas las tomas realizadas por fecha y junto a estas se encuentra el botón que corresponde al detalle de las mismas.

Al ingresar al detalle de cada muestra realizada, se presenta de manera informativa todos los valores de los siete sensores incluidos en el sistema, identificando de color rojo si algún gas está excedido en su tolerancia máxima para el ser humano.

Al ingresar a uno de los gases específicamente, se mostrará una gráfica con el detalle de los valores obtenidos, posteriormente habrá un cuadro con el breve análisis indicando valores como promedio medido, el resultado y las recomendaciones textuales. Junto a este cuadro se encontrarán los históricos de todas las tomas anteriores.

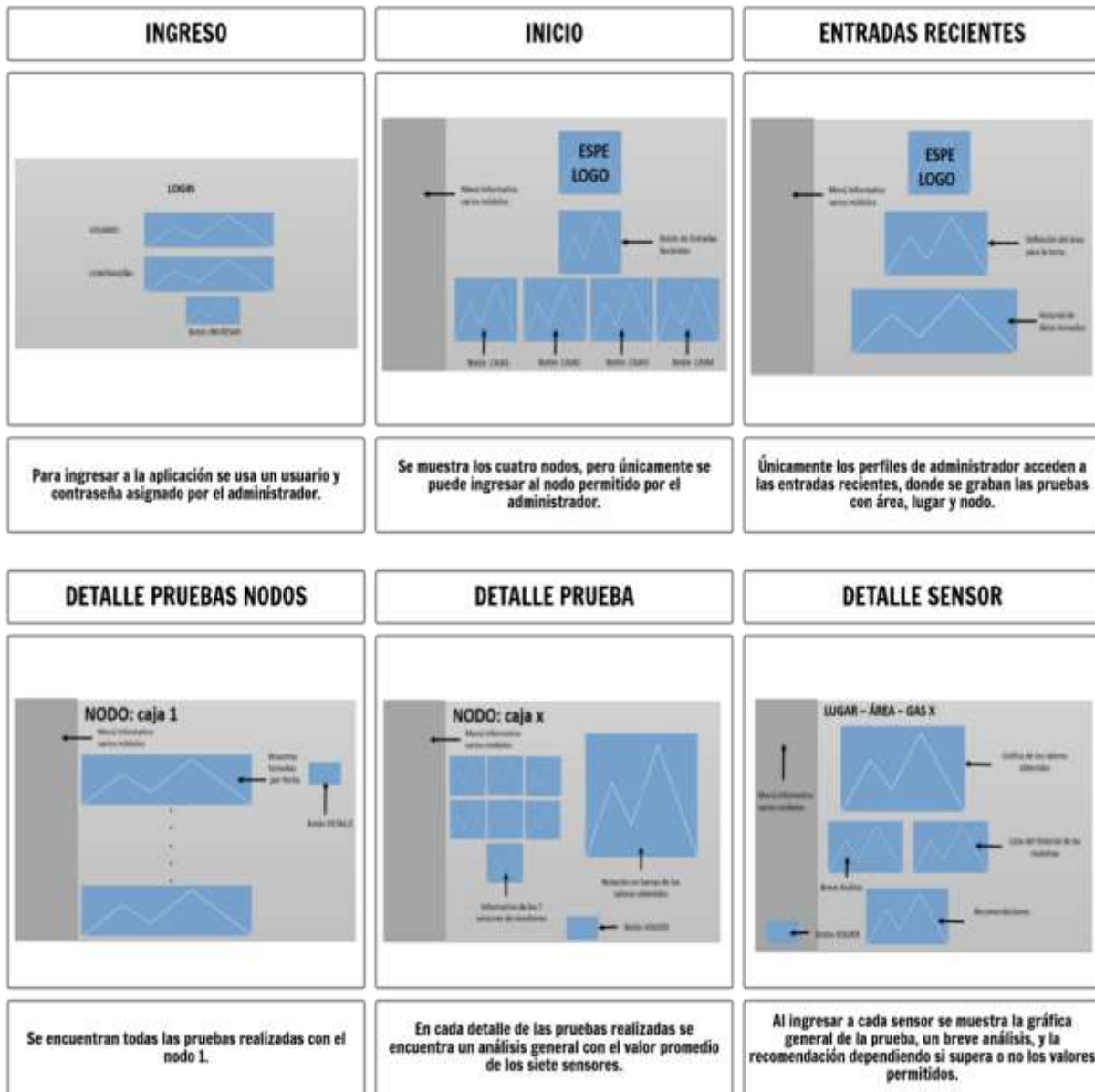


Figura 61. Storyboard de la aplicación web.

Adicional existe un módulo llamado reportes que presenta las mediciones obtenidas en cada una de las pruebas, se escoge en cuál de ellas se necesita un historial, y se presenta la gráfica universal de todos los datos de los siete sensores, pudiendo descargar tanto la imagen como los datos en formato CSV y XLS.

3.8. Implementación del Sistema de Monitoreo

Para la implementación del sistema se unen las partes de software y hardware, se toma en cuenta el lugar de prueba donde se arma el escenario y la ubicación donde estará el dispositivo.

- Hardware.

El prototipo implementado se muestra a continuación en la figura, donde se aprecian la vista superior, y laterales.

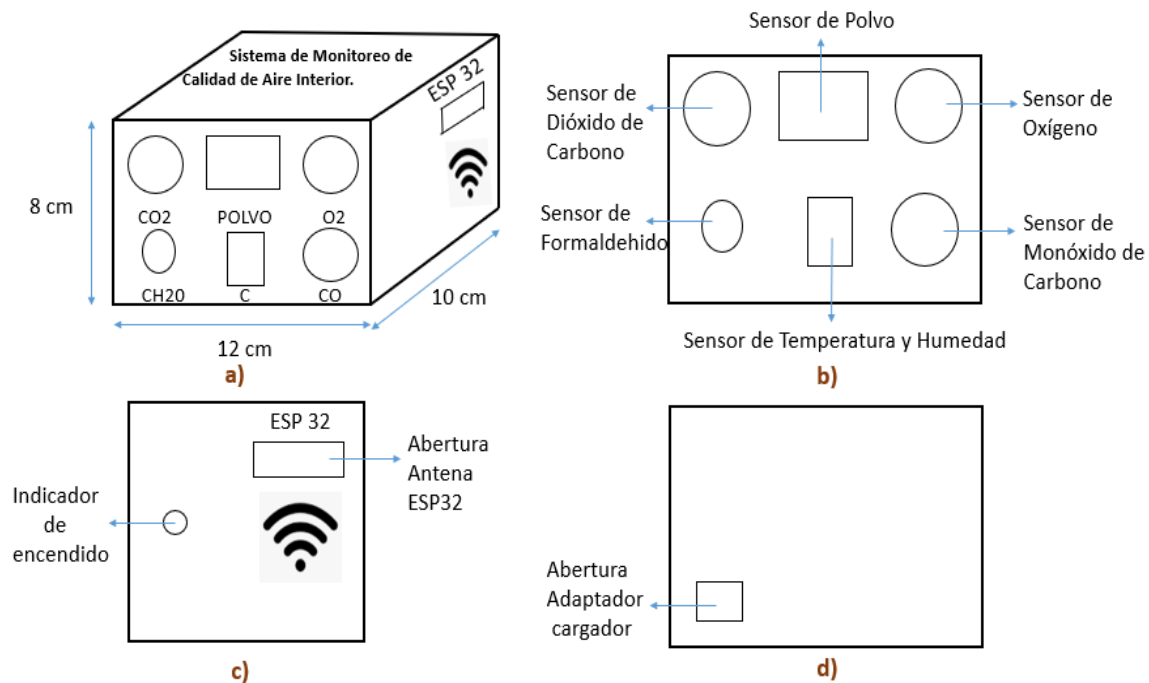


Figura 62. Prototipo de la carcasa del Sistema a) Vista completa b) Frontal c) Lateral derecha d)

Posterior

3.9. Protocolo de Pruebas

Para la realización del protocolo de pruebas se toma en cuenta el escenario que tiene un área de 36m² y no existen fuentes de ventilación forzadas, sólo los flujos de aire natural desde la entrada.

En este caso el dispositivo de monitoreo se ubicará en la entrada a la oficina de docentes, en la parte superior de la puerta de entrada, con los sensores orientados hacia el área de monitoreo que se eligió.

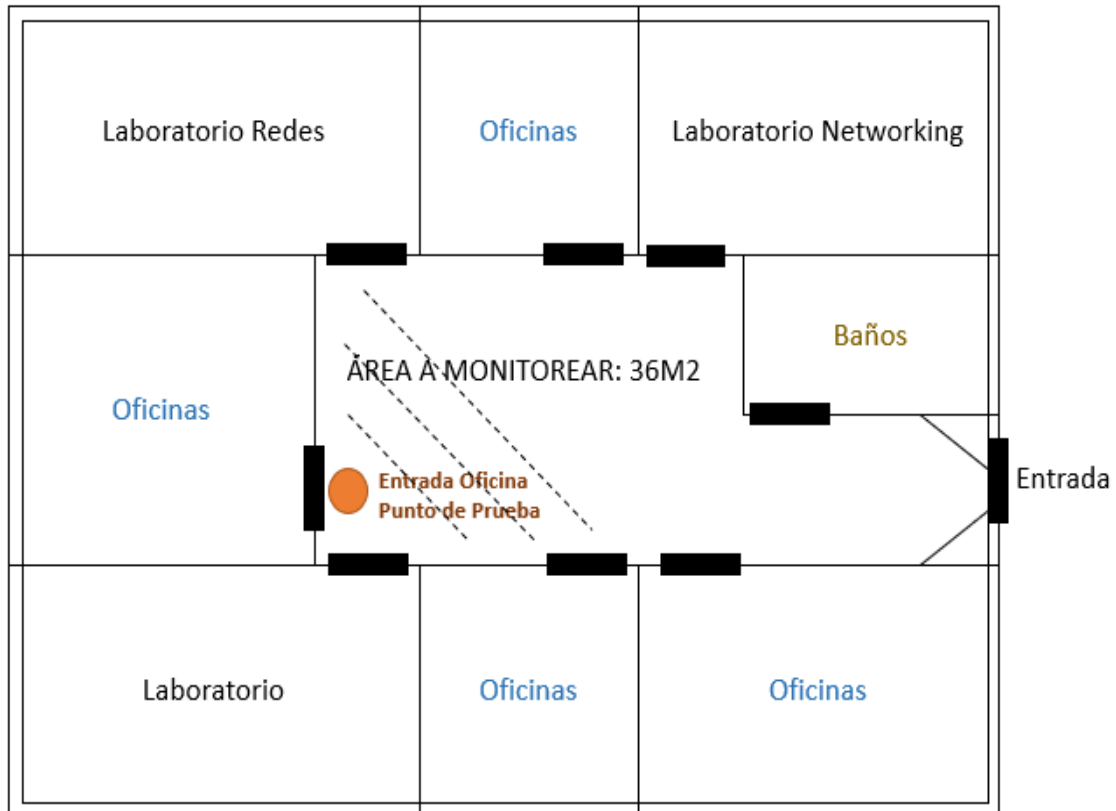


Figura 63. Distribución del área para pruebas.

Este protocolo de pruebas sirve para verificar el funcionamiento del dispositivo y software dentro del sistema.

Sin embargo, antes se debe considerar aspectos previos como funcionamiento y calibración de cada uno de los sensores, por lo que se realizan pruebas dentro de la cámara de captación de oxígeno

y dióxido de carbono, con el objetivo de verificar la respuesta de los organismos vegetales utilizados, a estos gases.

3.9.1. Pruebas 1: Adquisición de datos de los sensores.

El objetivo de esta prueba es comprobar el funcionamiento de los sensores del nodo de monitoreo (dispositivo), polvo, y temperatura, además de verificar a que distancia se puede identificar un cambio de las variables sensadas.

Procedimiento

1. Elegir un escenario de pruebas.
2. Alimentar eléctricamente y encender el dispositivo de monitoreo.
3. Conectar el dispositivo al computador, a través del cable microUSB.
4. Ejecutar el comando Ctrl+Mayus+M dentro de la interfaz de Arduino, para observar los datos obtenidos de la lectura de los sensores.
5. Monitorear por 150 minutos, en el escenario de prueba.
6. Cada 30 minutos realizar la variación de distancia y exponer a los gases de referencia.
7. Descargar los datos monitoreados desde la base de datos.
8. Graficar y comparar los datos obtenidos, entre cada distancia.
9. Analizar los resultados

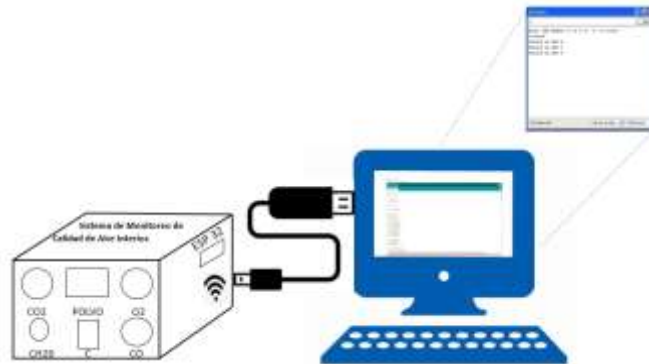


Figura 64. Diagrama de conexión para prueba 1.

3.9.2. Prueba 2: Verificar conectividad

A través de esta prueba se verifica la conectividad entre el dispositivo de monitoreo y el sistema, donde los datos de las variables medidas, son enviados y son almacenados en la Base de Datos.

Procedimiento

1. Encender el dispositivo de monitoreo.
2. Verificar dirección IP asignada, configurando en Arduino como;


```
Serial.println("IP Address");
Serial.println(WiFi.localIP());
```
3. Conectar un computador a la misma red.
4. Compilar y subir el código de Arduino a la placa.
5. Inicializar Wireshark desde el computador y capturar los paquetes con envío de datos de tipo HTTP.
6. Desde el computador ejecutar el protocolo ICMP con el comando `ping -t` hacia la IP del nodo y verificar las respuestas por 1 minuto.

7. Desde el computador ejecutar el comando traceroute hacia la IP del servidor con el fin de identificar la conectividad y saltos para llegar al servidor.
8. Registrar los datos obtenidos en una tabla de excel.
9. Analizar los resultados.



Figura 65. Diagrama para prueba 2.

3.9.3. Prueba 3: Almacenado en la Base de Datos.

Mediante esta prueba se determina el tiempo de envío y escritura de un dato a la BD, además de comparar los datos transmitidos y almacenados.

Procedimiento

1. Encender el dispositivo de monitoreo y conectarlo a la red WiFi disponible.
2. Conectar el dispositivo a un computador por el puerto serial y capturar los datos que se envían mediante capturas de pantallas.
3. Registrar los datos en una tabla de excel
4. Ingresar a la base de datos y realizar una consulta de tabla_sensor de los datos obtenidos.

5. Monitorear el ambiente de prueba por una hora sin interrupciones, de este modo se asegura que el dispositivo no emita valores erróneos.
6. Comparar los datos de la tabla con los capturados en el serial e identificar hora de envío y hora de escritura en la BD.
7. Analizar los resultados y definir el tiempo que se demora en escribir un dato.



Figura 66. Diagrama para prueba 3.

3.9.4. Prueba 4: Monitoreo en ambientes interiores bajo condiciones controladas

Esta prueba pretende comprobar el funcionamiento del sistema completo, monitoreando por 5 días, un área de prueba, en los cuales se someterá a variaciones progresivas intencionales, de gases como: dióxido de carbono y monóxido de carbono.

Procedimiento

1. Iniciar el dispositivo y verificar su conexión a Internet.
2. Colocar el dispositivo en el área de prueba, (para este caso de 4m²).

3. Verificar que no haya puntos de ventilación.
4. Insertar un emisor de CO₂, a 10cm, 50cm, 1 m, 2m,3m del nodo.
5. Viciar el ambiente con gas CO, cada 24 horas, a una distancia de 2.5m para verificar acumulación o esparcimiento de este gas.
6. Desde un dispositivo electrónico con acceso a Internet, ingresar a la app. Web del sistema de monitoreo.
7. Revisar constantemente por 5 días los datos almacenados.
8. Analizar los resultados.

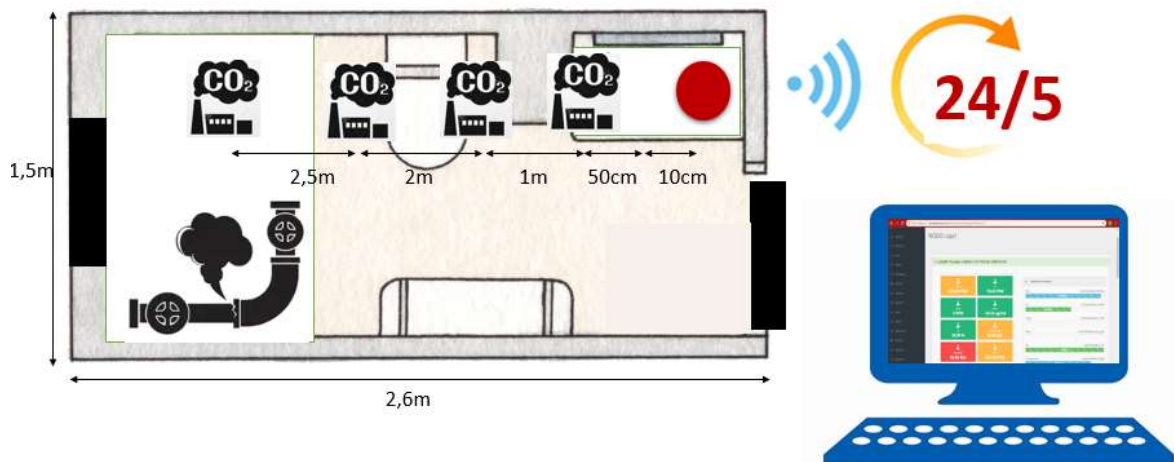


Figura 67. Diagrama prueba 4.

3.9.5. Prueba 5: Monitoreo en ambientes interiores en escenario de prueba.

Esta prueba se la realiza para comprobar el funcionamiento del sistema completo, monitoreando un ambiente interior de recorrido por 7 días, en los cuales se logrará establecer una línea base de mediciones y luego ver la variación en base a la recomendación del sistema.

Procedimiento

1. Verificar la conexión a Internet del dispositivo.
2. Colocar el dispositivo en el área de prueba establecida (ver figura 63).
3. Desde un computador, ingresar a la aplicación web del sistema de monitoreo.
4. Revisar constantemente por 7 días los datos almacenados, que corresponden a los días de la semana, para constatar el cambio que se tiene por día.
5. Analizar los resultados y obtener la línea base.
6. Repetir de paso 1 al 5 con las plantas recomendadas por el sistema.
7. Analizar los resultados.

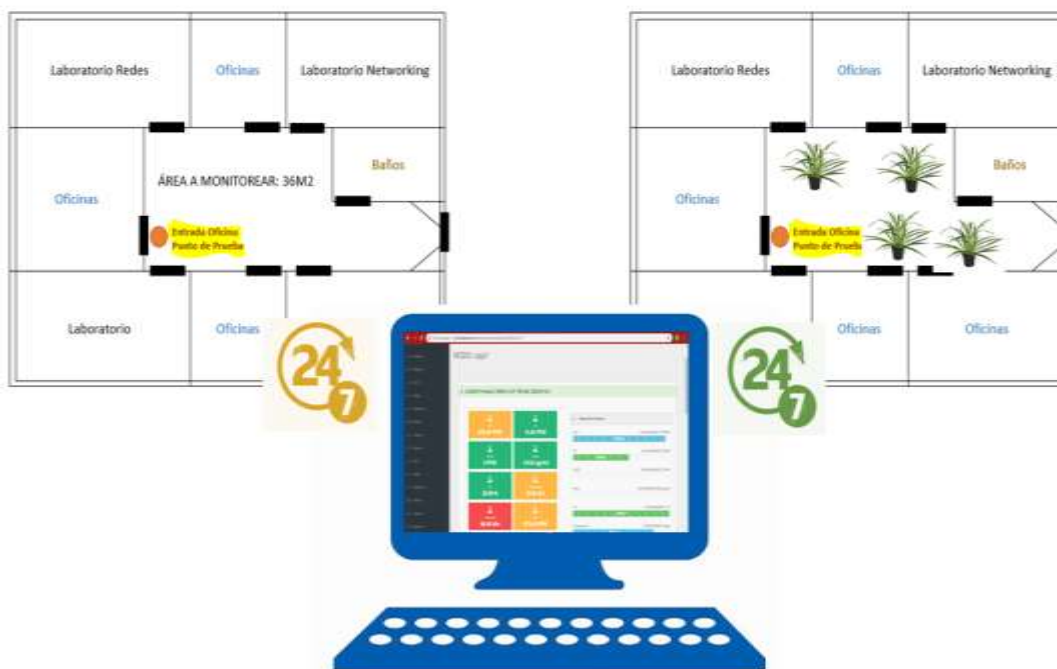


Figura 68. Diagrama de prueba 5.

3.9.6. Prueba 6: Descarga de datos monitoreados.

Esta prueba me permite verificar si los datos descargados directamente de la aplicación web son los correctos y corresponden a los almacenados en la BD, además de verificar los formatos de

archivos de descarga con el objetivo de analizar el tamaño de descarga, comprobando así el funcionamiento de todo el sistema.

Procedimiento

1. Iniciar el dispositivo y verificar su conexión a Internet.
2. Ingresar a la base de datos y realizar una consulta de tabla_sensor de los datos recibidos en una prueba de monitoreo.
3. Desde un dispositivo electrónico con acceso a Internet, ingresar a la aplicación web del sistema de monitoreo.
4. Ingresar a una prueba desde el nodo 1.
5. Descargar los datos de un sensor en los formatos PNG, JPEG, PDF, CSV y XLS.
6. Comparar los datos de la tabla con los descargados.
7. Analizar los resultados.

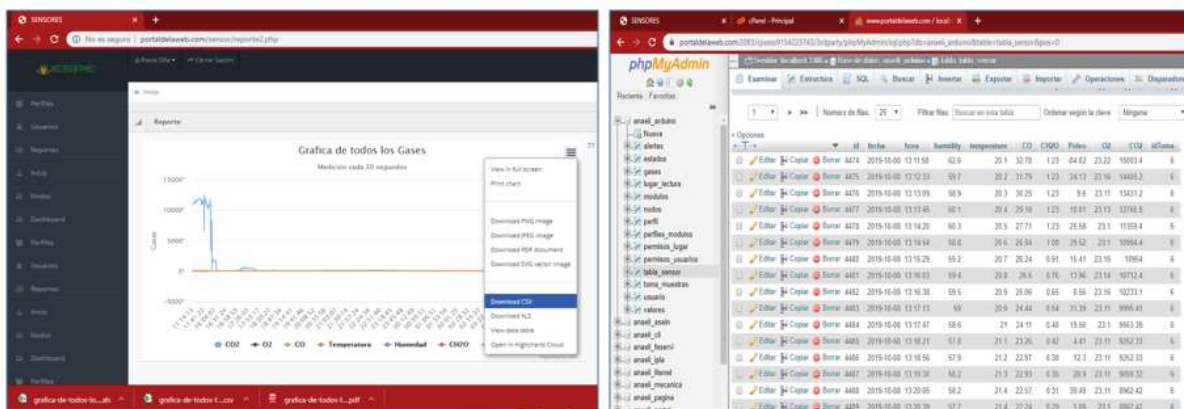


Figura 69. Diagrama prueba 6.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

El dispositivo implementado consta de varios sensores que junto al sistema de monitoreo pretenden analizar la calidad de aire de un área y realizar recomendaciones de mejora con el uso de plantas.

El sistema de monitoreo implementado puede ser observado en la figura 70.

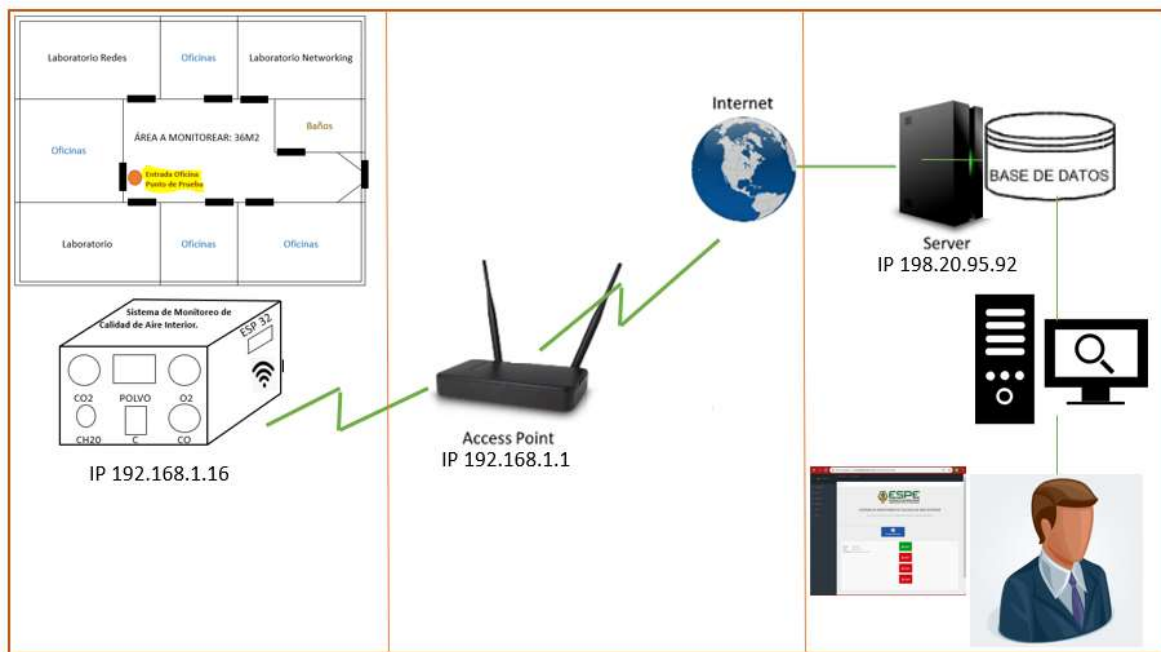


Figura 70. Diagrama de red.

Mientras el dispositivo de sensado se observa en la figura 71 y 72, y la página web en la figura 73.



Figura 71. Dispositivo implementado.



Figura 72. PCB sensor de Polvo, Sistema interno.

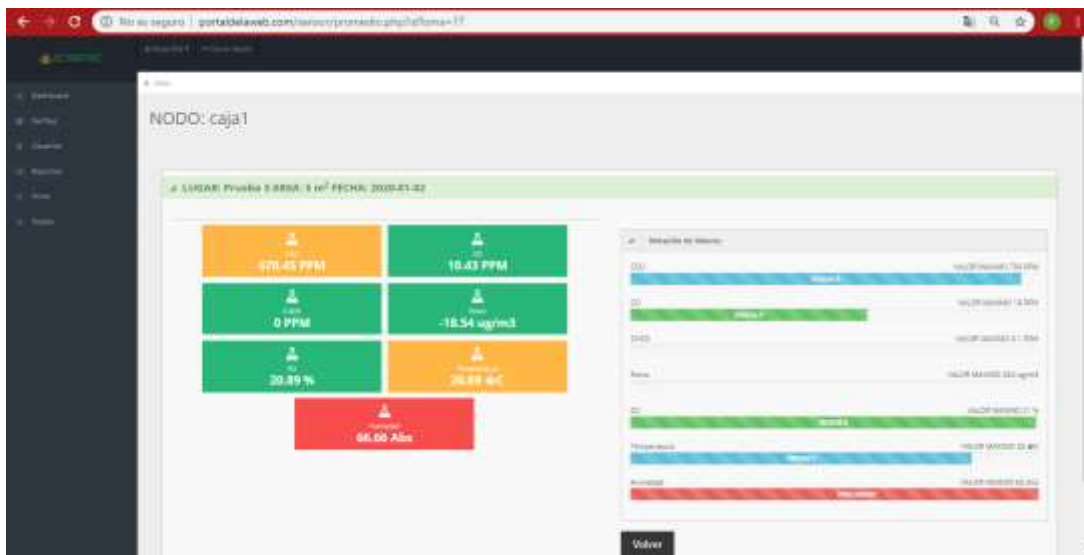


Figura 73. Aplicación Web página de análisis por prueba.

4.1. Análisis de los resultados Prueba 1: Adquisición de datos de los sensores.

La prueba se realiza en un entorno controlado, en un espacio cerrado, de área 4m², sin acceso de personas. En la figura 74 se observa los valores obtenidos por el monitoreo de todos los 7 sensores en conjunto, mediante la herramienta de monitor serial de Arduino IDE.



```
COM6
-----
WiFi connected
IP Address
192.168.43.241
10

Temp = 20.60
Humidity = 36.00
CO = 57.59
CH2O = 0.00
Polvo = 23.71
O2 = 21.72
CO2 = 348.18
10

Temp = 20.70
Humidity = 36.10
CO = 58.63
CH2O = 0.00
Polvo = 28.24
O2 = 21.81
CO2 = 343.03

Autocril  Mostrar marca temporal
Filtros líneas 115200 baudios Limpiar salida
```

Figura 74. Monitor Serial Arduino IDE.

Para identificar el cambio de las variables sensadas, y la distancia mínima a las cuales siguen teniendo respuesta, se lo realiza mediante el monitoreo continuo durante 2 horas y 30 minutos, tomando valores cada 30 segundos, obteniendo 300 muestras.

Se varía la distancia en 10cm,50cm,1m, 2m y 3m del dispositivo, cada 30 minutos obteniendo así la respuesta de los sensores con diferentes variaciones.

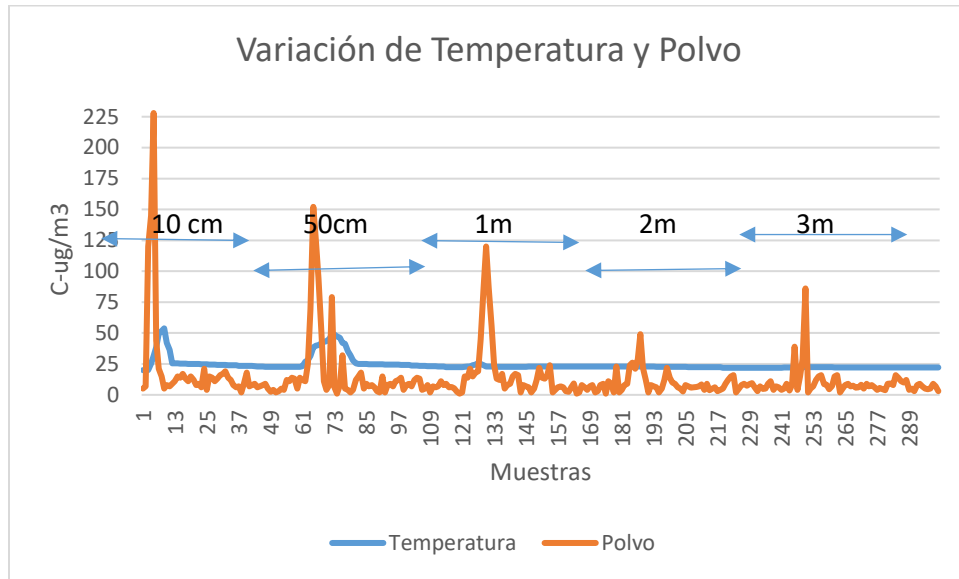


Figura 75. Variación de temperatura y polvo.

Al realizar la prueba para la temperatura se utiliza un secador de cabello de 2000w de potencia, marca Montero, éste produce una temperatura de 50 grados centígrados en la máxima velocidad, Al generar probar a los 10 cm el sensor detecta hasta un pico máximo de 51 grados centígrados, mientras que, en la distancia de 3 m, éste ya no genera ningún cambio, debido a que la temperatura del emisor se mezcla con la del ambiente.

Para realizar la prueba con el polvo se utiliza partículas de harina mezcladas dentro de una capa de fibra de hilo, la cantidad a utilizar fue de aproximadamente 10 gramos para cada prueba, una vez realizadas las pruebas, se identifica que este sensor al utilizar un infrarrojo para la detección, tiene una respuesta rápida a las partículas de modo que en todas las pruebas son evidentes sus cambios.

En la variación del oxígeno se utiliza 15 gramos de hielo seco, de modo que éste al ser utilizado en varias aplicaciones para mantener los ambientes estériles logra que el oxígeno presente se

desplace, pero se puede identificar que la cantidad utilizada no fue suficiente debido al área de prueba, ya que sólo se identifica cambios a los 10 cm de prueba, logrando desplazar el oxígeno hasta el 17%.

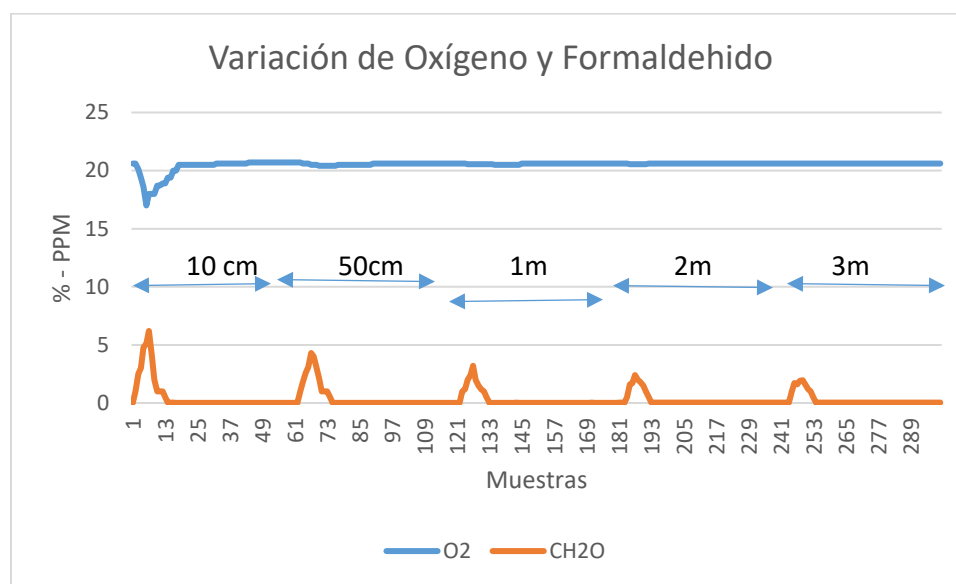


Figura 76. Variación de oxígeno y formaldehído.

Para la variación del formaldehído se utilizó una botella de formol de 500ml al 20%, al realizar las pruebas se identifica que para la distancia máxima probada si existe la detección del gas, por lo que este sensor monitorea a un radio mayor a 3 m.

Tabla 54.

Registro de los picos detectados a diferentes distancias por los sensores.

Distancia	Sensor de Temperatura	Sensor de Polvo	Sensor de Oxígeno	Sensor de Formaldehído
10cm	51 grados	230 ug/m3	17%	5.6 ppm
50cm	49 grados	155 ug/m3	19%	4.9 ppm
1m	32 grados	125 ug/m3	20%	4 ppm
2m	23 grados	50 ug/m3	20.6%	3 ppm
3m	22 grados	75 ug/m3	20.6%	2 ppm

En esta primera prueba se concluye que, a mayor distancia de emisión de gases, el dispositivo detecta menor cantidad, por lo que es necesario para trabajos futuros implementar más de 1 nodo.

4.2. Análisis de los resultados Prueba 2: Verificar conectividad.

Para verificar la IP usada por el dispositivo se añade en el programa de Arduino las siguientes líneas:

```
Serial.println("IP Address");  
  
Serial.println(WiFi.localIP());
```

Posteriormente se compila, verificando que no existen errores, al subir el código. Al empezar a monitorear lo primero que aparece es la IP asignada, como se indica en la figura 77, siendo esta la 192.168.1.16.

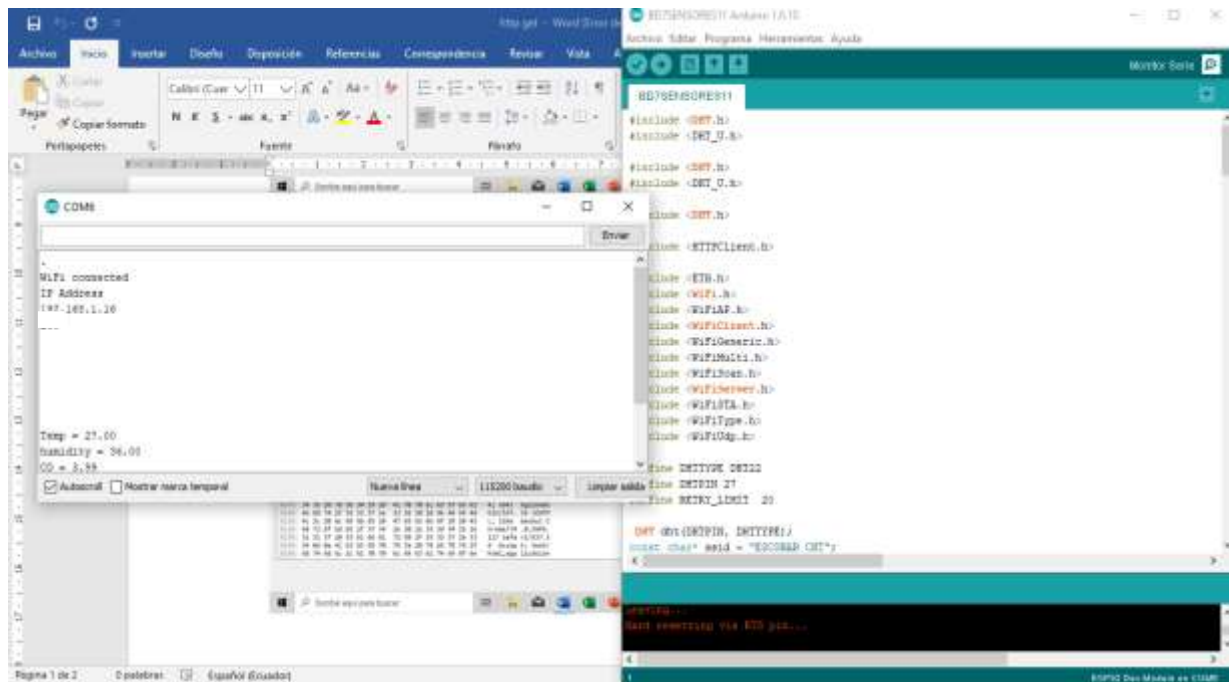


Figura 77. IP asignada para el nodo.

Para verificar la conectividad se ha usado el protocolo ICMP enviando 60 paquetes. En la figura 78 se tiene la respuesta del comando PING desde el computador hacia el nodo, y en la figura 79 desde el computador hacia la IP del servidor.

Para esta prueba se comprueba que efectivamente existe respuesta del comando PING, por lo que existe conectividad en la red. La conectividad hacia el nodo tiene una latencia media de 60ms, por lo que no se genera ningún problema de red, caso contrario en la conectividad hacia el servidor existe una latencia media de 120ms, siendo esta el doble que la del nodo, tomando en cuenta que mientras más sea el tiempo del ping, este registrará más tiempo en el envío de datos al servidor. Es importante anotar que no existe pérdida de paquetes, por lo tanto, no habrá inconvenientes en la transmisión de los datos.

Uno de los factores que en este caso generan más latencia es la distancia entre los puntos que se requiere establecer la conexión, un punto importante es que el servidor que se ha utilizado en este proyecto, está ubicado en Argentina, razón por la cual se genera la latencia del doble que del nodo.

```

Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=112ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=98ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=86ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=72ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=59ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=31ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=17ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=87ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=74ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=62ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=48ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=35ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=22ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=107ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=78ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=50ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=38ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=36ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=110ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=81ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=66ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=38ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=25ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.1.16: bytes=32 tiempo=112ms TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.1.16:
  Paquetes: enviados = 60, recibidos = 60, perdidos = 0
  (0% perdidos),
  Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
  Mínimo = 13ms, Máximo = 112ms, Media = 60ms

```

Figura 78. PING hacia el nodo.

```

Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=120ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=118ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=120ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=121ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=124ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=120ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=119ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=131ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=120ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=120ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=119ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=121ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=119ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=119ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=120ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=120ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=119ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=119ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=119ms TTL=50
Respuesta desde 198.20.95.92: bytes=32 tiempo=119ms TTL=50

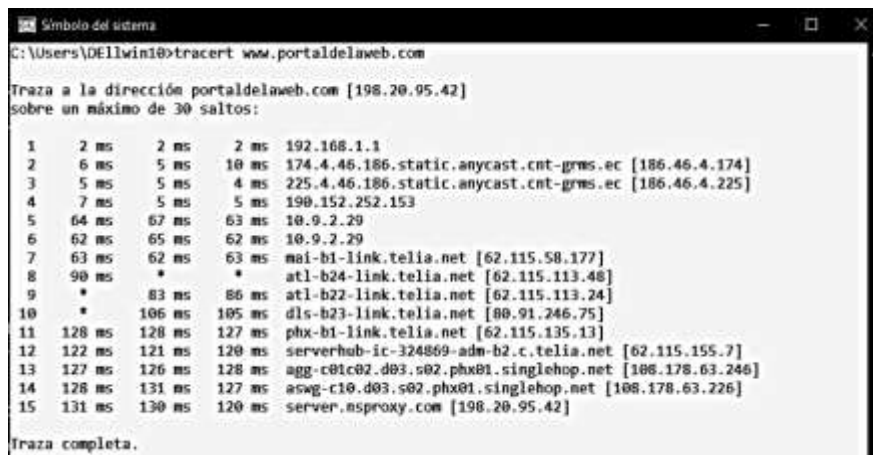
Estadísticas de ping para 198.20.95.92:
    Paquetes: enviados = 61, recibidos = 61, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 118ms, Máximo = 131ms, Media = 120ms

```

Figura 79. PING hacia el servidor.

Además, se pretende validar la red y los saltos que recorren los paquetes hasta llegar al servidor.

Para identificar los saltos que realizan los paquetes hasta llegar al servidor se analiza la figura 76.



```

C:\Users\DEllwin10>tracert www.portaldelaweb.com

Trazo a la dirección portaldelaweb.com [198.20.95.42]
sobre un máximo de 30 saltos:

 1  2 ms  2 ms  2 ms  192.168.1.1
 2  6 ms  5 ms  10 ms  174.4.46.186.static.anycast.cnt-grms.ec [186.46.4.174]
 3  5 ms  5 ms  4 ms  225.4.46.186.static.anycast.cnt-grms.ec [186.46.4.225]
 4  7 ms  5 ms  5 ms  190.152.252.153
 5  64 ms  67 ms  63 ms  10.9.2.29
 6  62 ms  65 ms  62 ms  10.9.2.29
 7  63 ms  62 ms  63 ms  mai-b1-link.telcel.net [62.115.58.177]
 8  90 ms  *  *  atl-b24-link.telcel.net [62.115.113.48]
 9  *  83 ms  86 ms  atl-b22-link.telcel.net [62.115.113.24]
10  *  106 ms  105 ms  dls-b23-link.telcel.net [80.91.246.75]
11  128 ms  128 ms  127 ms  phx-b1-link.telcel.net [62.115.135.13]
12  122 ms  121 ms  120 ms  serverhub-ic-324869-adm-b2.c.telcel.net [62.115.155.7]
13  127 ms  126 ms  128 ms  agg-c01c02.d03.s02.phx01.singlehop.net [108.178.63.246]
14  128 ms  131 ms  127 ms  aswg-r10.d03.s02.phx01.singlehop.net [108.178.63.226]
15  131 ms  130 ms  120 ms  server.msproxy.com [198.20.95.42]

Trazo completa.

```

Figura 80. TRACERT hacia el servidor.

En la figura 80 se identifica que inmediatamente aplicado el comando tracert, se muestra la dirección IP del dominio que se ha ubicado, seguido a esto, explica porque nodos ha pasado, así como la dirección IP y la latencia para cada uno de ellos.

En base a esta información, se puede visualizar que aproximadamente el ping del servidor muestra la misma latencia que el paso final de tracert. Pudiendo acotar que la latencia de la conexión no es la suma de las de todos los pasos, sino que es obtenida de manera independiente para cada caso en particular.

Finalmente se utilizó la herramienta wireshark con el objetivo de verificar los paquetes entre la comunicación HTTP (Get post) en la red.

En la figura 81, se puede observar la respuesta de Wireshark, donde se indica el método utilizado que es el GET y su respuesta del paquete, mientras que en la figura 82 se muestra las características del paquete analizado.

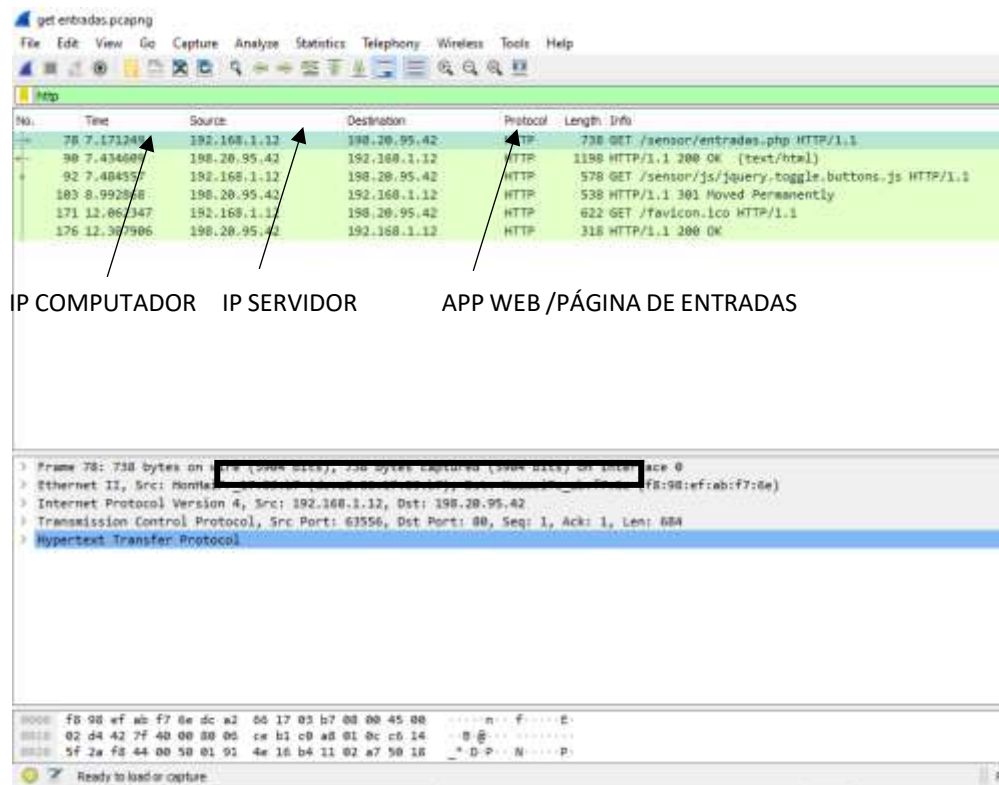


Figura 81. Método GET en wireshark.



Figura 82. Características del paquete.

En la figura 83, se muestra la solicitud y respuesta del paquete. Para identificar el procedimiento de solicitud y respuesta del paquete, se empieza por indicar cada línea en donde;

GET indica el método utilizado (GET o POST), URL indica la URL a la que se envía la solicitud, El protocolo es HTTP, la versión es 1.1 y User-Agent contiene información sobre el navegador utilizado.

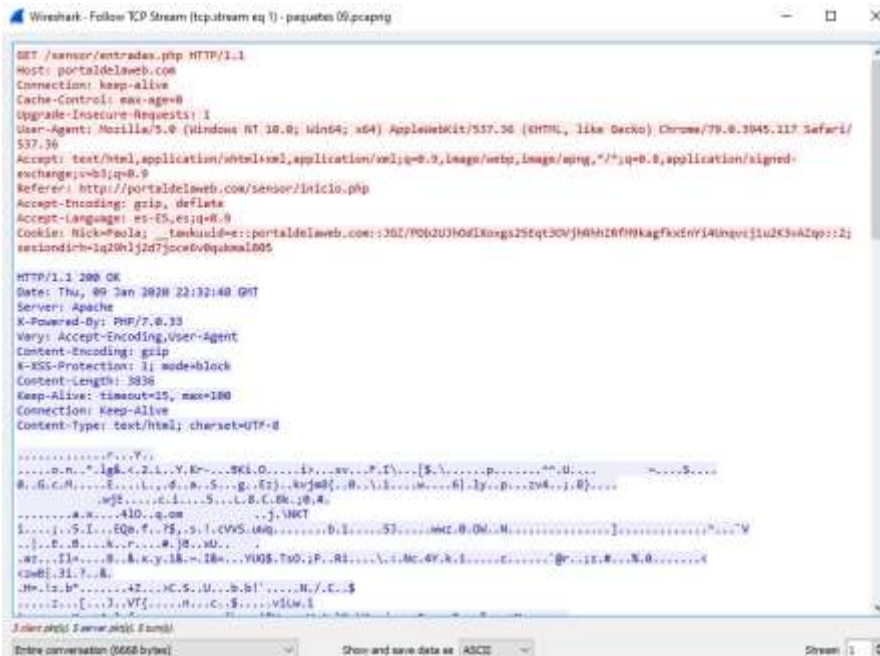


Figura 83. Solicitud y respuesta del paquete.

De igual manera se puede leer la respuesta: HTTP / 1.1 indica el protocolo y versión, La fecha indica el tiempo durante el cual se generó la respuesta, Server: es el tipo de servidor utilizado.

4.3. Análisis de los resultados Prueba 3: Almacenado en la Base de Datos.

Esta prueba sirve para verificar el almacenamiento de los datos en la Base de Datos y verificar que la captura por el dispositivo aparezca en la BD.

The image shows a comparison between data received from a serial monitor and data stored in a database. On the left, a serial monitor window displays the following data:

```

COM6
Temp = 26.80
humidity = 36.90
CO = 4.03
CH2O = 0.00
Polvo = 25.56
O2 = 21.11
CO2 = 285.52
200
  
```

On the right, a web browser window shows a database table with the following columns: `id`, `fecha`, `hora`, `humidity`, `temperature`, `CO`, `CH2O`, `Polvo`, `O2`, `CO2`, `idToma`. The table contains several rows of data, with one row highlighted in blue:

	id	fecha	hora	humidity	temperature	CO	CH2O	Polvo	O2	CO2	idToma
	83728	2020-01-10	18:12:17	36.4	26.9	4.21	0	41.56	21.35	286.73	0
	83727	2020-01-10	18:11:42	36.2	26.8	4.18	0	16.65	21.35	285.27	0
	83726	2020-01-10	18:11:07	36.3	26.8	4.14	0	25.79	21.59	276.58	0
	83725	2020-01-10	18:10:33	36.0	26.8	4.03	0	45.66	21.11	295.63	0
	83724	2020-01-10	18:09:58	36	26.9	4.12	0	21.43	21.35	267.97	0
	83723	2020-01-10	18:09:22	35.9	26.9	4.11	0	14.37	21.35	265.12	0

The highlighted row (id 83727) shows values that closely match the data from the serial monitor, such as temperature (26.80), humidity (36.90), CO (4.03), CH2O (0.00), Polvo (25.56), O2 (21.11), and CO2 (285.52).

Figura 84. Captura del Serial vs BD.

En la figura 84 se muestra los valores obtenidos utilizando el protocolo de pruebas desde la base de datos comparados con los valores enviados y mostrados desde el Monitor Serial de Arduino, en donde se puede identificar que el mismo valor que envía llega a la base de datos con un tiempo de

escritura promedio de 2 segundos, ejemplo el Id 83727 aparece en el monitor serial 18:11:40 y en la base de datos indica 18:11:42, esto debido a todos los saltos que tiene que pasar para llegar al ser almacenado en el servidor.

El error de envío de es 0, ya que todo se mantiene igual durante 1 hora de monitoreo cada 3 minutos aproximadamente.

Hora	Tabla Sensor de la Base de Datos							Tabla creada de los valores de Monitor serie							Error de envío
	CO2	O2	CO	Temperatura	Humedad	CH2O	Polvo	CO2	O2	CO	Temperatura	Humedad	CH2O	Polvo	
12:00:16	264,00	20,88	27,40	22,80	57,30	0,01	0,00	264,00	20,88	27,40	22,80	57,30	0,01	0,00	0,00
12:03:43	283,53	20,89	13,20	22,80	57,20	0,01	0,00	283,53	20,89	13,20	22,80	57,20	0,01	0,00	0,00
12:07:12	303,81	20,89	7,82	22,80	57,30	0,01	0,00	303,81	20,89	7,82	22,80	57,30	0,01	0,00	0,00
12:10:39	314,22	20,91	7,85	22,80	57,40	0,01	1,71	314,22	20,91	7,85	22,80	57,40	0,01	1,71	0,00
12:14:06	324,81	20,89	7,85	22,80	57,30	0,01	0,00	324,81	20,89	7,85	22,80	57,30	0,01	0,00	0,00
12:17:33	298,67	20,91	7,60	22,90	56,70	0,01	0,00	298,67	20,91	7,60	22,90	56,70	0,01	0,00	0,00
12:21:01	319,49	20,91	7,67	22,90	57,20	0,01	0,00	319,49	20,91	7,67	22,90	57,20	0,01	0,00	0,00
12:24:28	314,22	20,91	7,63	22,90	57,00	0,01	0,00	314,22	20,91	7,63	22,90	57,00	0,01	0,00	0,00
12:27:54	341,05	20,91	7,70	22,90	57,20	0,01	0,00	341,05	20,91	7,70	22,90	57,20	0,01	0,00	0,00
12:30:12	330,18	20,92	7,73	22,90	57,10	0,01	0,00	330,18	20,92	7,73	22,90	57,10	0,01	0,00	0,00
12:33:39	298,67	20,89	7,61	22,90	56,40	0,01	3,99	298,67	20,89	7,61	22,90	56,40	0,01	3,99	0,00
12:37:06	303,81	20,91	7,57	22,90	56,30	0,01	0,00	303,81	20,91	7,57	22,90	56,30	0,01	0,00	0,00
12:40:33	314,22	20,92	7,63	23,00	56,40	0,01	0,00	314,22	20,92	7,63	23,00	56,40	0,01	0,00	0,00
12:44:01	319,49	20,91	7,72	23,00	56,60	0,01	0,00	319,49	20,91	7,72	23,00	56,60	0,01	0,00	0,00
12:47:28	346,55	20,92	7,89	23,00	56,80	0,01	0,00	346,55	20,92	7,89	23,00	56,80	0,01	0,00	0,00
12:49:46	324,81	20,92	7,86	23,00	56,90	0,01	0,00	324,81	20,92	7,86	23,00	56,90	0,01	0,00	0,00
12:53:13	314,22	20,91	7,83	23,10	56,60	0,01	0,00	314,22	20,91	7,83	23,10	56,60	0,01	0,00	0,00
12:56:40	324,81	20,92	7,86	23,10	56,60	0,01	0,00	324,81	20,92	7,86	23,10	56,60	0,01	0,00	0,00
13:00:07	392,22	20,92	7,91	23,10	56,80	0,01	8,35	392,22	20,92	7,91	23,10	56,80	0,01	8,35	0,00

Figura 85. Comparación de resultados.

4.4. Análisis de los resultados Prueba 4: Monitoreo en ambientes interiores bajo condiciones controladas.

Para esta prueba se monitorea continuamente, en un ambiente controlado, sin flujo de aire y con el ingreso por medio de la quema de 150 gr de carbón para cada día, esto es para poder verificar si los valores de los sensores varían conforme pasa el tiempo.

Mediante la figura 86, se puede verificar que realmente existe una variación progresiva en cuando al Dióxido de Carbono ya que el primer día de monitoreo inicia con alrededor de 350 ppm, conforme pasa el tiempo finaliza el monitoreo finaliza con un valor promedio pico que sobrepasa

las 1000 ppm, indicando que existió una acumulación de gases dentro del área de prueba, debido a que no cuenta con ventilación.

El Monóxido de Carbono varía desde 5 ppm hasta 52 ppm, por la acumulación de gas. La humedad tuvo una variación ya que se genera un ambiente adecuado para la quema del carbón, además de generar calor, donde la temperatura llega a producir un aumento, en este caso de hasta 27 grados.

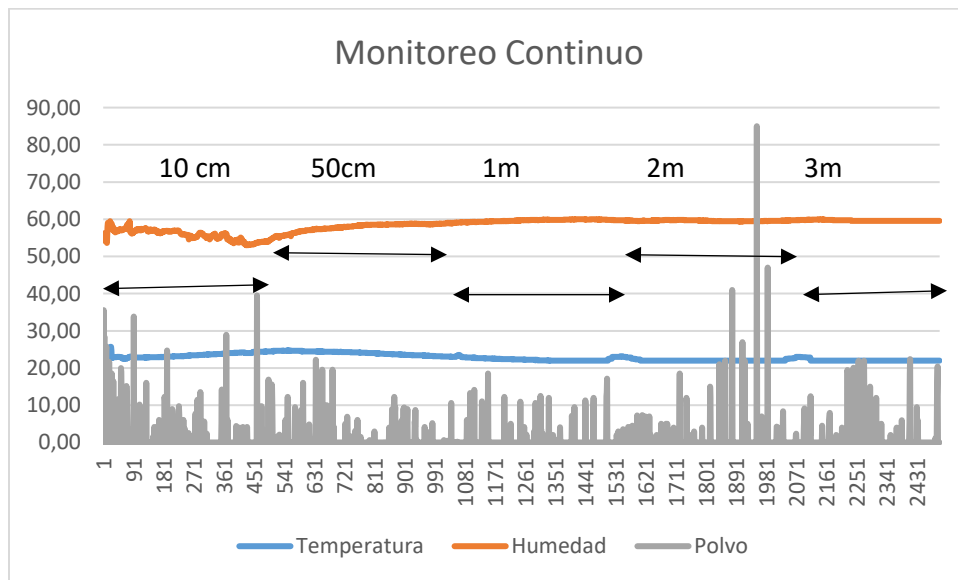


Figura 86. Monitoreo bajo condiciones controladas.

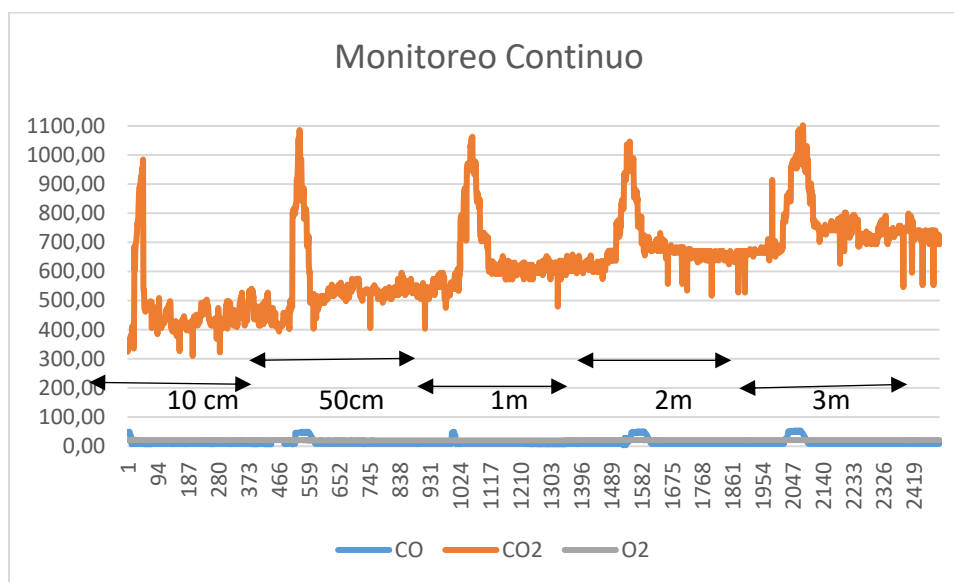


Figura 87. Monitoreo bajo condiciones controladas.

El polvo tuvo valores de hasta 80 μ g/m³, esto debido a que cuando se termina que quemar el carbón produce cenizas, que de igual manera se convierte en particulado respirable dentro del ambiente.

La prueba realizada contempla valores atípicos ya que, al monitorear 24 horas consecutivas por 5 días, implica que registrará valores de todo tipo según se cambien las condiciones, por tal se debe tomar en cuenta el uso de la mediana

Tabla 55.

Mediana de los valores obtenidos.

	O ₂	CO	Temperatura	Humedad	CO ₂	Polvo
MEDIANA	20.9%	38.5PPM	25C	59.5	800PPM	25 μ g/m ³

El valor de la mediana de los gases sirve para, identificar de manera más real el medio de los valores registrados, y comprender la tendencia central de la concentración de los gases, sin tomar en cuenta valores muy bajos o muy altos.

Tomando en cuenta estos valores el sistema propone el uso de plantas biopurificadoras, en este caso al ser 2 gases que se mantienen sobre el límite permitido, recomienda en específico la planta de tipo dracena, además por la cantidad de ceniza en el ambiente alerta y recomienda ventilación.

4.5. Análisis de los resultados Prueba 5: Monitoreo en ambientes interiores en escenario de prueba.

Para la prueba 5, se realiza las conexiones necesarias en el escenario de pruebas, tomando en cuenta que se monitoreará por 7 días continuos, el área a monitorear es de 36 metros cuadrados, con una salida de ventilación central, y sin organismos vegetales presentes.

Una vez monitoreado por el tiempo establecido el sistema analiza y recomienda la introducción de plantas de tipo Cintas, con las recomendaciones del sistema se incluye la cantidad de 4 plantas para el área de prueba, como se indica en la figura 88, tomando en cuenta que se utiliza 1 planta cada 9 m², y se vuelve a realizar el monitoreo.

The screenshot displays a web application interface with two main sections highlighted by red boxes:

- DATOS:** A table with the following data:

Parámetro	Promedio	Estado	Recomendación
CO2	1151.22	PeZigra	Inserte plantas de tipo CINTAS
- RECOMENDACIONES:** A section featuring a large image of a plant (Cintas) and a green button with the number '4', indicating the recommended quantity.

Below the plant image, there is a small text block: "CINTAS (Dracaena fragrans) es una planta perenne perteneciente a la familia de las dracenas. Es un excelente Removedor de que se libera por aerosol que funcionan a gel, favoreciendo a estos por sus y por agua."

Figura 88. Breve análisis y Recomendación del sistema.

Mientras que para la prueba insertando organismos vegetales en el área, se realiza en las mismas condiciones del escenario de prueba, pero con organismos vegetales presentes, como son las plantas de tipo cintas.

Se identifica en la comparación de los dos tipos de monitoreo que el Dióxido de Carbono disminuye los fines de semana, esto puede darse debido a que, no hay personas presentes, la generación de CO₂ no aumenta, caso contrario del valor promedio máximo de los días miércoles y jueves que llegan a 1643.63 ppm, por el uso de laboratorios de redes y networking en horas de la mañana con un promedio de 35 personas presentes en las diferentes áreas.

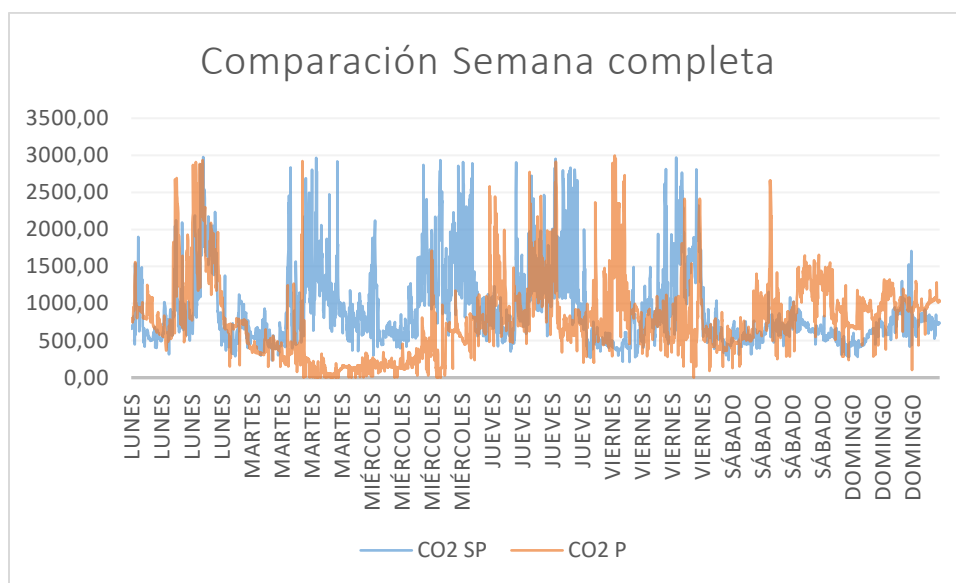


Figura 89. Comparación Semanal del gas CO₂.

Cabe recalcar que los valores analizados de todos los parámetros y gases varían dependiendo el día, ya sea por la presencia de muchas personas para el ingreso a los diferentes laboratorios o la ausencia de personas por el fin de semana.

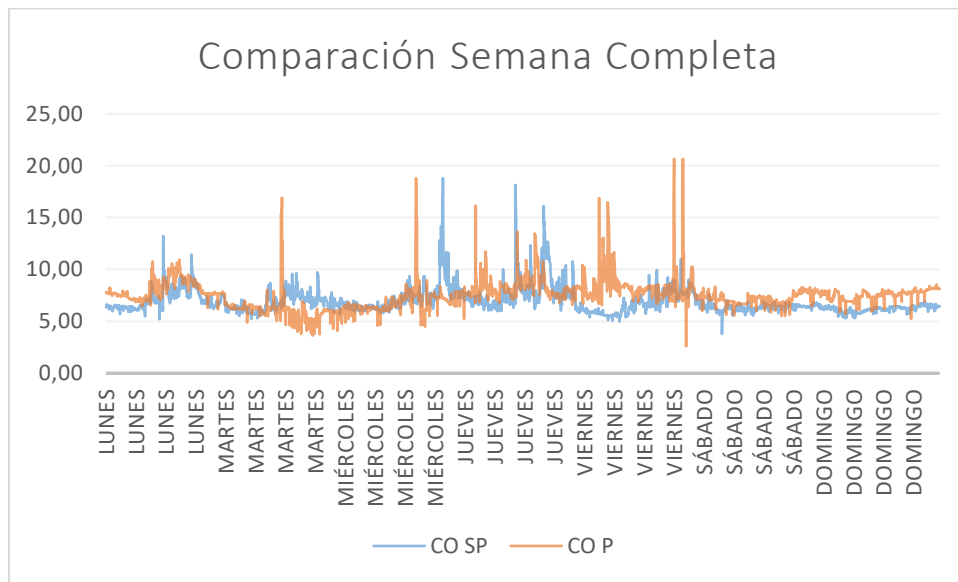


Figura 90. Comparación semanal del gas CO.

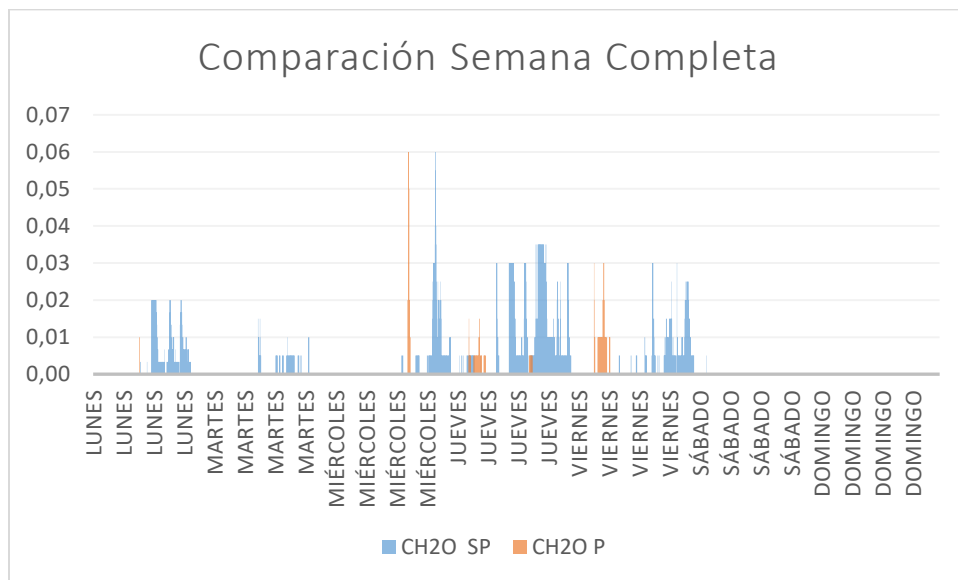


Figura 91. Comparación semanal del gas CH₂O.

El Monóxido de Carbono no registra variaciones, ya que no hay combustión o fugas cercanas.

Al analizar el gas de formaldehído, se determina que, existió una variación alta de este gas, durante el día 19 de noviembre de 2019, esto debido a trabajos en la entrada al edificio con uso de

pinturas y material de construcción, por lo que llegó a un punto más alto de 0.06 ppm ver figura 91.

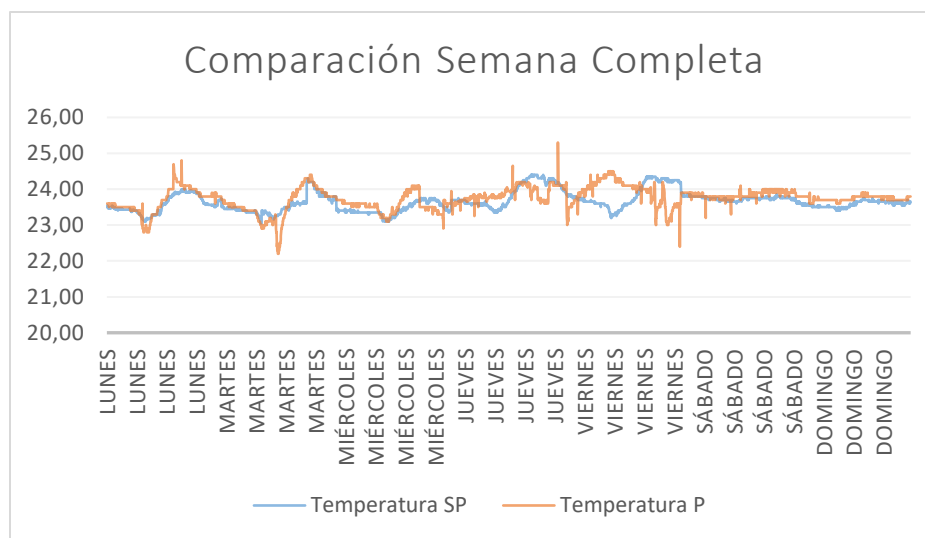


Figura 92. Comparación semanal de temperatura.

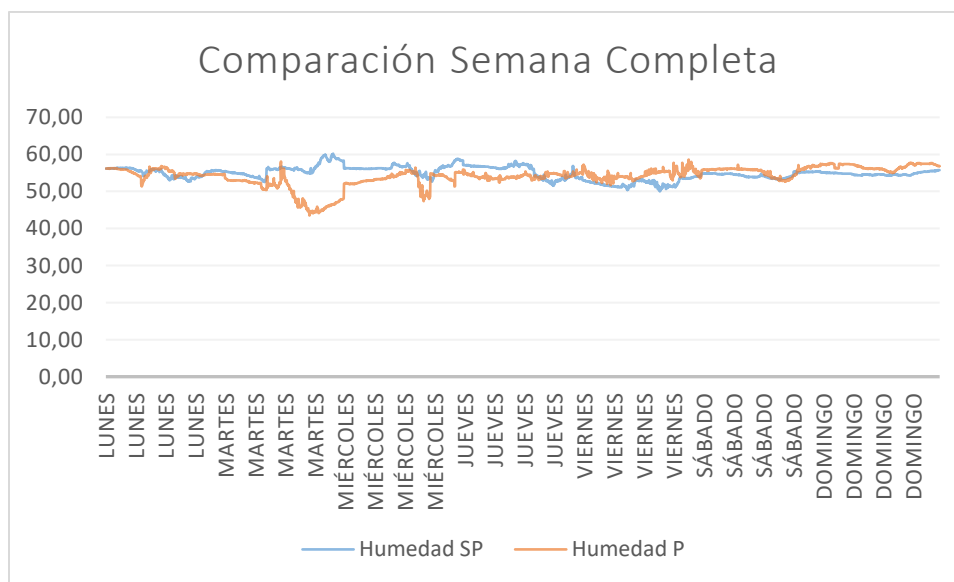


Figura 93. Comparación semanal de la humedad.

El oxígeno se mantuvo con una variación promedio de 20.4 por ciento, mientras que la temperatura llegó a los 23.6 grados, con una humedad relativa promedio de 54, además no se observa la presencia de formaldehído peligroso para la salud humana y el polvo al no superar el 1

microgramo por metro cúbico, no pone en riesgo las vías respiratorias de los presentes en el área de monitoreo.

Análisis resultados con plantas y sin plantas por día.

El objetivo de analizar las dos pruebas en conjunto es verificar si existió cambios o mejoras en el ambiente por la presencia de los organismos vegetales introducidos en el ambiente de prueba.

Para este análisis se toma los datos de 7 diferentes días, con los gases monitoreados.

Para ello se realiza un análisis estadístico basado en el P Valor, éste usa una hipótesis que admiten únicamente un sí o no como respuesta, para este proyecto se utiliza una hipótesis comparativa. Como un breve resumen para entender la manera de interpretar los resultados obtenidos por el P Valor, se hace las hipótesis H_0 y H_1 , donde:

H_0 : Hipótesis de igualdad o nula

H_1 : Hipótesis de investigación o alternativa.

Para saber cuál se debe escoger, se lo hace matemáticamente con lo cual se acepta H_0 o H_1 según el P Valor arrojado como resultado.

Este P Valor es la probabilidad de error de aceptar a H_1 como cierta y que en realidad no lo sea, de esta manera si el P Valor es menor que 0.05 correspondiente al 5% se acepta el H_1 , caso contrario si el P Valor es mayor o igual que 0.05 se acepta la H_0 .

Para obtener el P Valor de 2 conjuntos de datos de datos se utiliza la técnica de contraste de hipótesis. Los contrastes de hipótesis son capaces de responder a preguntas concretas que se puede formular sobre los parámetros poblacionales de interés.

Para realizar el análisis de los resultados obtenidos, se toma en cuenta que se debe realizar la comparación de las dos poblaciones para este proyecto un resultado de la población con el uso de plantas y la otra población sin plantas. El objetivo es comparar los porcentajes de las respuestas de una variable cuantitativa de interés en cada una de ellas.

Para llevar a cabo esta comparación se dispone de dos muestras del mismo tamaño, una por cada una de las poblaciones de estudio, además se debe plantear un contraste de hipótesis bilateral.

Para realizar este análisis se utiliza el software R Commander. R es un lenguaje y entorno de programación fundamentalmente indicado para el análisis estadístico y gráfico, que se distribuye bajo licencia GNU GPL; es multiplataforma, además de estar disponible para los sistemas operativos Windows, Macintosh, Unix y GNU/Linux. R Commander no sólo admite crear y trabajar sobre datos con el formato nativo de R, sino que también puede importar ficheros de otros formatos, incluido SPSS o Excel; los análisis están disponibles mediante un sistema de menús y cuadros de diálogo intuitivos.

Proceso de análisis

Seleccionar la pestaña Estadísticos, escoger Proporciones y acceder a Test de proporciones para dos muestras. Aparecerá una pantalla como lo indicada en la figura 94.

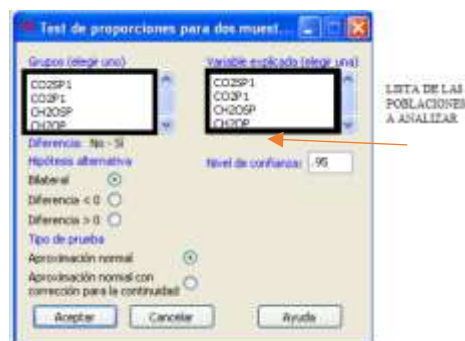


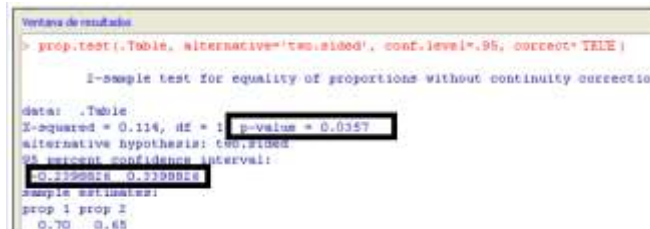
Figura 94. Cuadro de diálogo para detalles de PValor.

- ¿Existe una disminución de valores de CO₂ por la noche y madrugada cuando hay plantas presentes?

H₀: No Existe una disminución de CO₂ cuando hay plantas presentes.

H₁: Existe una disminución de CO₂ cuando hay plantas presentes

Para este análisis se escoge únicamente los valores de CO₂ del día lunes de la noche y madrugada, mediante el programa R Commander.



```

Verfava de resultados
> prop.test(.Table, alternative='two.sided', conf.level=.95, correct=TRUE)

1-sample test for equality of proportions without continuity correction

data: .Table
X-squared = 0.114, df = 1, p-value = 0.0357
alternative hypothesis: two.sided
95 percent confidence interval:
 0.0000000 0.0300000
sample estimates:
prop 1 prop 2
 0.70  0.65

```

Figura 95. Resultados R Commander.

Para identificar, el P Valor es el correspondiente a 0.0357. En este caso con un valor de 0, se acepta la H₁ como cierta.

Conclusión: La presencia de las plantas a pesar de ser otra fuente de Dióxido de Carbono, en promedio no altera los valores existentes en el ambiente, pero si se nota una disminución en horas de la noche y madrugada.

Para todos los análisis se realiza el mismo procedimiento.

- ¿El gas CH₂O en presencia de plantas no existe?

H₀: Existe CH₂O cuando hay plantas presentes.

H₁: No existe CH₂O cuando hay plantas presentes

```

> prop.test(.Table, alternative="two.sided", conf.level=.95, correct=TRUE)

1-sample test for equality of proportions without continuity correction

data: .Table
X-squared = 0.077, df = 1, p-value = 0.001
alternative hypothesis: two.sided
95 percent confidence interval:
 0.0000000 0.0000000

```

Figura 96. Resultados R Commander.

Para identificar, el P Valor es el correspondiente a Sig. En este caso con un valor de 0,012 se acepta la H1 como cierta.

Conclusión: El formaldehído en presencia de organismos vegetales es casi nulo, comparada con un ambiente sin plantas, en donde existen valores promedio de hasta 0.025 ppm.

- ¿El gas CO en presencia de plantas disminuye?

H0: No disminuye el CO cuando hay plantas presentes.

H1: Disminuye el CO cuando hay plantas presentes

```

> prop.test(.Table, alternative="two.sided", conf.level=.95, correct=TRUE)

1-sample test for equality of proportions without continuity correction

data: .Table
X-squared = 0.562, df = 1, p-value = 0.031
alternative hypothesis: two.sided
95 percent confidence interval:
 0.0000000 0.0000000

```

Figura 97. Resultados R Commander.

Para identificar, el P Valor es el correspondiente a Sig. En este caso con un valor de 0, se acepta la H1 como cierta.

Conclusión: El CO se ha mantenido estable, tomando en cuenta que en las primeras horas del día se igualan los valores de monitoreo, pero por la tarde y noche mientras que en un ambiente sin plantas aumenta, en el ambiente con plantas disminuye.

- ¿El CO₂ aumenta el fin de semana?

H0: No aumenta el CO2 cuando hay plantas presentes.

H1: Aumenta el CO2 cuando hay plantas presentes

```
> prop.test(.Table, alternative='two.sided', conf.level=.95, correct=TRUE)

2-sample test for equality of proportions without continuity correction

data: .Table
X-squared = 0.937 , df = 1, p-value = 0.007
alternative hypothesis: two.sided
95 percent confidence interval:
-0.2349645 0.2469571
```

Figura 98. Resultados R Commander.

Para identificar, el P Valor es el correspondiente a Sig. En este caso con un valor de 0, se acepta la H1 como cierta.

Conclusión: Los valores de CO2, en el fin de semana tienden a disminuir, pero al introducir plantas en el ambiente, estos valores aumentan, tomando en cuenta que se encuentran totalmente cerrados, mezclando los gases de la respiración de la planta con los ya existentes en el ambiente.

4.6. Prueba 6: Descarga de datos monitoreados.

Al ingresar a la aplicación web, y revisar el análisis de una prueba en especial, de comprueba el funcionamiento como se indica en la figura 89.



Figura 99. Análisis de la aplicación web para una prueba.

Para descargar los datos de una prueba por sensor se lo realiza con el CO, dándonos una gráfica como se indica en la figura 90, idéntica a la gráfica descargada de la figura 91.



Figura 100. Análisis del CO de una prueba en la aplicación web.



Figura 101. Gráfica PNG descargada de la aplicación web.

Al realizar la descarga en todos los formatos permitidos, se puede identificar que la extensión XLS, es la más pesada con 128KB, a diferencia de un archivo JPEG de 63 KB.

Este equipo > Descargas

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Hoy (9)			
valor-de-co-medido-cada	2/1/2020 21:07	Hoja de cálculo d...	128 KB
valor-de-co-medido-cada	2/1/2020 21:07	Archivo de valores...	27 KB
valor-de-co-medido-cada	2/1/2020 21:07	Archivo JPEG	63 KB
valor-de-co-medido-cada	2/1/2020 21:06	Archivo PDF	107 KB
valor-de-co-medido-cada	2/1/2020 21:06	Archivo PNG	72 KB

Figura 102. Archivos descargados desde la aplicación web.

Al abrir el archivo XLS y comparar con los datos almacenados en la BD se comprueba que son los mismos datos y no existe alteraciones en los valores como lo indica la figura 93.

id	fecha	hora	humidity	temperature	CO	CH2O
79412	2019-12-18	16:01:14	58.5	25.2	17.93	
79415	2019-12-18	16:02:58	58.4	24.9	18.62	
79416	2019-12-18	16:03:32	58.7	24.8	18.7	
79323	2019-12-17	11:14:13	55.1	24.6	24.8	
79324	2019-12-17	11:14:47	54.9	24.7	25.11	
79325	2019-12-17	11:15:22	54.9	24.7	25.18	
79326	2019-12-17	11:15:56	55.1	24.8	25.14	
79327	2019-12-17	11:16:21	54.9	24.8	25.33	
79328	2019-12-17	11:17:05	55.1	24.8	25.25	
79329	2019-12-17	11:17:40	54.8	24.8	25.25	
79330	2019-12-17	11:18:14	54.5	24.9	25.27	

Category	CO
11:14:13	24,80
11:14:47	25,11
11:15:22	25,18
11:15:56	25,14
11:16:31	25,33
11:17:05	25,25
11:17:40	25,25
11:18:14	25,27

Figura 103. Comparación de datos descargados con los datos almacenados en la BD.

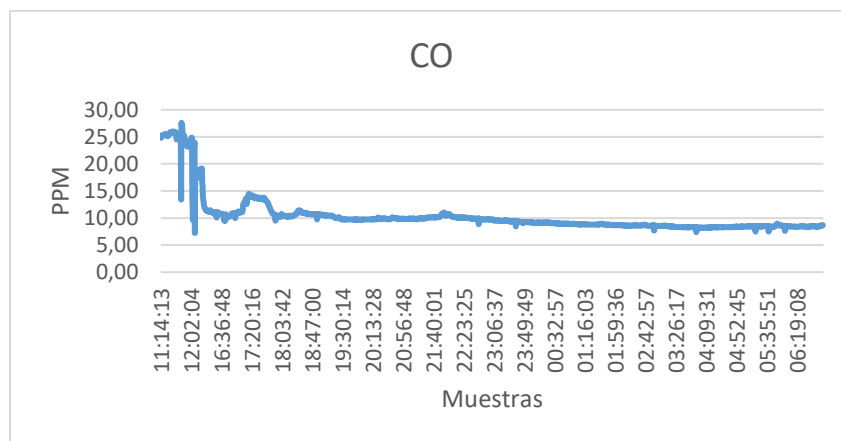


Figura 104. Gráfica de los valores descargados mediante el archivo XLS.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se realizó el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de calidad de aire interior, el cual está formado por un nodo con siete sensores, entre ellos sensores electroquímicos, se realizaron pruebas de monitoreo continuo por un lapso de 35 días, en donde se determinó comportamientos en diferentes situaciones de prueba, entre ellos con la introducción de plantas biopurificadoras recomendadas, observando un efecto favorable en gases específicos como el Dióxido de Carbono debido a que efectivamente se produjo una disminución de los valores promedio, sin embargo, dicha disminución no supera el 25 por ciento de la totalidad de los datos monitoreados, siendo esto un valor no mayor a 250 PPM, tomando en cuenta los valores pico más altos durante 1 día de la semana sin plantas, en comparación al mismo día de la semana con plantas.

Se diseñó un circuito de bajo costo con una inversión de alrededor de 700 dólares en comparación con analizadores profesionales que oscilan desde los 2500 dólares, que además de tener una unidad de procesamiento eficiente, tiene la ventaja el ser inalámbrico y estar conectado directamente a la nube, además de presenta las mismas lecturas, una vez calibrado, y teniendo una vida útil de 1 año aproximadamente.

Según los estándares internacionales definidos por U.S. Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards. Los valores permitidos en ambientes internos son; CO 18ppm, CO₂ 500ppm, Polvo 260 ug/m³, Formaldehído 0.1ppm, frente a los resultados promedio

medidos de; CO₂ 739.62ppm, CO 17.54ppm, Polvo 0.26 ug/m³ y formaldehído 0.01ppm, que se obtuvieron en el monitoreo indican que la calidad de aire interior en el área de prueba es de promedio mala.

La energía que consume cada sensor es diferente por eso es indispensable el cálculo correcto del amperaje necesitado para el funcionamiento del circuito total, en este caso la suma de corrientes da un resultado de 950mA, sin embargo, en la práctica se consume una corriente igual a 1.2 A. debido a los componentes extras que consumen más corriente.

La importancia de calibrar un sensor, para obtener resultados confiables, se debe a que un sensor experimenta variaciones de las condiciones a las cuales está expuesto o incluso estrés físico durante un periodo de tiempo, en el cual este puede producir una desviación significando que los resultados que muestre el sensor ya no resulten fiables e incluso pudiendo afectar a la calidad del dispositivo.

Entre la calibración de sensores hay diferentes métodos, para este proyecto se utilizó el método de bombonas de gas, donde se calibró los 3 sensores más importantes que son de CO₂, CO Y O₂, obteniendo certificados con norma INEN por un tiempo vigente de 6 meses. También se incluyó el método de calibración por software, este último se logra identificando su comportamiento y realizando una regresión logarítmica que permite encontrar la ecuación característica de cada sensor y con esos resultados programando en la unidad procesadora, para que los datos al ser procesados sean los correctos.

De las pruebas realizadas, se concluye que, a mayor distancia de emisión de gases, el dispositivo detecta menor cantidad, por lo que es necesario para trabajos futuros implementar más de 1 nodo, tomando en cuenta que cada nodo tiene un radio aproximado mínimo de detección de 3m.

Se comprueba que efectivamente existe respuesta del comando PING, por lo que existe conectividad en la red. La conectividad hacia el nodo tiene una latencia media de 60ms, que no genera problemas de red, además de no existir pérdida de paquetes, por lo tanto, no habrá inconvenientes en la transmisión de los datos.

Uno de los datos importantes reflejados en el monitoreo, es el del formaldehído que en sus resultados marca cero, en un ambiente interior con plantas biopurificadoras, esto debido al efecto de purificación, tomando en cuenta que el ambiente no es industrial y no está expuesto a residuos de formol, pinturas o laca, sin embargo, se lo considera en la implementación del sistema ya que es un gas altamente tóxico que al presentar en un ambiente no industrial llega a ser mortal.

5.2.Recomendaciones

Se recomienda que los dispositivos diseñados en este estudio, se conecten directamente a la red eléctrica con un cargador de 2 A a 5 v, opcionalmente podría trabajarse con baterías, sin embargo, no es la mejor alternativa, ya que se tiene un funcionamiento parcial del sistema de monitoreo, debido al tiempo que se usa para cargar nuevamente el dispositivo.

Para un óptimo sensado se debe esperar en promedio 5 minutos, debido al calentamiento necesario del circuito interno de los sensores, con cual se evita realizar una doble calibración para las mediciones.

Según la empresa DEGSO (Cahueñas, 2020) en equipos de lectura directa es decir que usan una bomba interna para atrapar el aire a monitorear se realiza cada 10 segundos la toma de muestras, pero en equipos fijos y de monitoreo continuo es óptimo la toma de muestras cada 5 minutos.

Hay que tomar en cuenta que, según el datasheet de los sensores, el químico dentro del sensor tiene un tiempo de vida útil promedio de 2 años, debido al desgaste del encapsulado, una forma de identificar que los sensores están degradándose es mediante una prueba sencilla de manera visual, al observar una cristalización alrededor del sensor, indicando esto que los sensores deben ser reemplazados.

Hay que tomar en cuenta que todo dispositivo de medición electrónico, tiene un tiempo una reserva de spam, llamada así al valor de error que presenta en la medición, tomando en cuenta que si este error superar el 1%, debe ser nuevamente calibrado.

Se podría mejorar los resultados incrementando áreas de ventilación internas forzadas, las plantas ayudaron a disminuir los valores de formaldehído notablemente, además de disminuir la temperatura en 1 grado centígrado.

Para complementar este proyecto de investigación en versiones futuras, se debe considerar incluir un sensor de fotoionización que serviría para el monitoreo de compuestos orgánicos volátiles, ya que generalmente los equipos profesionales de alta gama tienen uno incluido.

BIBLIOGRAFÍA

- Aakvaag, N., & Frey, J. E. (2006). Redes De Sensores Inalámbricos. *Revista ABB*, 2, 39-42.
- Alegret, S., Del Valle, M., & Merkoçi, A. (2004). Sensores Electroquímicos: Introducción A Los Quimiosensores Y Biosensores: Curso Teórico-Práctico (Vol. 147). Univ. Autònoma De Barcelona.
- Solá, X. G. (2012). Calidad Del Aire Interior. Instituto Nacional De Seguridad E Higiene En El Trabajo (INSHT).
- Martínez, F. J. R., & Gómez, E. V. (2007). Calidad De Ambientes Interiores. Editorial Paraninfo.
- Kowalski, W. (2010). Manual De Irradiación Germicida Ultravioleta: UVGI Para Desinfección De Aire Y Superficies. Springer Ciencia Y Medios De Negocios.
- Matela, D. (2006). Filtración De Aire: Verde Y Limpio: Cómo Mejorar La Calidad Del Aire Interior. *Filtración Y Separación*, 43(9), 24-27.
- Reinoso, R. F., & Sabio, M. M. (2002). El Carbón Activado En Procesos De Descontaminacion. Departamento De Química Inorgánica. Universidad De Alicante. España.
- Aakvaag, N., & Frey, J. E. (2006). Redes De Sensores Inalámbricos. *Revista ABB*, 2, 39-42.
- Brezmes Llecha, J. (2001). Diseño De Una Nariz Electrónica Para La Determinación No Destructiva Del Grado De La Maduración De La Fruta. Universitat Politècnica De Catalunya.
- R. H. Weber, (2010). "Internet Of Things - New Security And Privacy Challenges". *Computer Law & Security Review* 26: 23-30.

- Salazar, J., & Silvestre, S. (2016). Internet De Las Cosas. Techpedia. České Vysoké Učení Technické V Praze Fakulta Elektrotechnická.
- Charith Perera Et. Al. (2014). Sensing As A Service Model For Smart Cities Supported By Internet Of Things. Transactions On Emerging Telecommunications Technology 25 (1): 81–93.
- Eterovic, J., Cipriano, M., & Nicolet, S. (2018). Análisis De Protocolos De Comunicaciones Para Internet De Las Cosas. In XX Workshop De Investigadores En Ciencias De La Computación (WICC 2018, Universidad Nacional Del Nordeste)..
- Agut, R. M. Especificación De Requisitos Software Según El Estándar De IEEE 830. Universidad Jaume I. Departamento De Inform {Á} Tica. Paper.
- Arévalo, O., Linares, S., Correa, L., Parra, J., & González, H. (2008). IEEE-STD-830-1998: Práctica Recomendada Para Las Especificaciones De Requisitos Del Software. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional De Colombia. Recuperado De [https://www. Coursehero. Com/File/26783786/Requerimientos-Norma-Ieee830doc](https://www.coursehero.com/file/26783786/Requerimientos-Norma-Ieee830doc).
- Ros Liarte, A. (2013). Control Ambiental De La Exposición A Contaminantes Químicos (Exposición A Formaldehído).
- Peng, YL, Chen, J., Y Shi, J. (2018). Monóxido De Carbono. Nombre De La Revista Int. J. Mol. Sci .
- Spiegel, J., & Maystre, L. Y. (2012). Control De La Contaminación Ambiental. Instituto Nacional De Seguridad E Higiene En El Trabajo (INSHT).

- Lozano, L. R. (2016). MF0617_3-Gestión Del Mantenimiento De Instalaciones De Energía Eólica. Ediciones Paraninfo, SA.
- Salcido, A., Murillo, A. T. C., Adolfo, G., Flores, T., Flores, N. H., Carreón, S., ... & Salcido, A. I. (2019). Calidad Del Aire Y Monitoreo Atmosférico. Revista Digital Universitaria, 20(3).
- Rodríguez Jiménez. (2009). Hacia Un Uso Sostenible De Los Recursos Naturales. Sevilla: Universidad Internacional De Andalucía, 2008. ISBN: 978-84-7993-048-6
- Monteros Varela, E. G. (2015). Diseño E Implementación De Un Sistema De Mitigación A La Huella De Carbono En La Zona Urbana (Bachelor's Thesis, Quito: UCE).
- De Villegas Álvarez, E. D., Menéndez, M. D. C., Martínez, M. S., Alonso, M. C., & Viera, N. R. (2015). Radiación Ultravioleta. Fotoenvejecimiento Cutáneo. Medisur, 3(1), 14-33.
- Revista Cubana De Estomatología, Versión Impresa ISSN 0034-7507
- Rev Cubana Estomatol Vol.50 No.4 Ciudad De La Habana Sep.-Dic. 2013
- Pedraza Ortiz, L. J. (2015). La Biodepuración Del Aire Con Plantas Purificantes Y Ornamentales, Como Alternativa Ambiental En El Siglo XXI.
- Cortés, J. (2013). Evaluación De La Contaminación Atmosférica En El Aire Ambiente De Manizales Por Cops Y PM10 (Doctoral Dissertation, Tesis Magister En Ingeniería-Ingeniería Química., Universidad Nacional De Colombia, Sede Manizales, FIA).
- Arrieta, Á. Á., Díaz, J. A., & Fuentes, Ó. C. (2016). Elaboración Y Optimización De Una Red De Sensores Electroquímicos Para Una Lengua Electrónica Orientada Al Análisis De Leche. Revista De La Sociedad Química Del Perú, 82(2), 152-161.

- Valderrama, J. O. (2018). Huella Del Carbono Cambio Climático, Gestión Sustentable Y Eficiencia Energética. *Información Tecnológica*, 29, 1-2.
- Romero, L., & Andrés, J. (2017). Una Mirada A La Fitorremediación En Latinoamérica.
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una Alternativa Para Eliminar La Contaminación. *Tropical And Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- Cruz, MD, Müller, R., Svensmark, B., Pedersen, JS Y Christensen, JH (2014). Evaluación De La Eliminación De Compuestos Orgánicos Volátiles Por Plantas De Interior: Una Novedosa Configuración Experimental. *Ciencia Ambiental E Investigación De La Contaminación* , 21 (13), 7838-7846.
- Suárez, C. A. A. (2012). Diagnóstico Y Control De Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales Y Fracción Respirable PM10. *Revista Luna Azul*, (34), 195-213.
- Basantes, E. F. B., Guerra, O. R. D., & Telenchana, L. S. C. (2019). Determinación De Los Gases Contaminantes En Fuentes Fijas En Las Empresas Embutidos Don Jorge Y Productos Lácteos San Enrique Provincia Cotopaxi, Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(3.2. 1), 299-309.
- Fernández, J. L. V., García, M. C. A., Morales, N. C., & Soto, M. N. (2016). Guía Para La Aplicación De UNE-EN ISO 14001: 2015. AENOR Ediciones.
- Bonilla Fabela, I., Tavizon Salazar, A., Morales Escobar, M., Guajardo Muñoz, L. T., & Laines Alamina, C. I. (2016). Iot, El Internet De Las Cosas Y La Innovación De Sus Aplicaciones. *Vinculatégica Efan*, (1), 2313-2340.

Estévez Caldas, A. (Mayo De 2014). Internet De Las Cosas, Hogar Inteligente Y Ahorro.

Porro Sáez I. (2019). Iot: Protocolos De Comunicación, Ataques Y Recomendaciones, INCIBE

Rodríguez, E. A., Castro Madrigal, A., Penón Portmann, M., Ramírez Cisneros, B., & Vargas Soto, I. (2015). Las Enfermedades Pulmonares Intersticiales Difusas En El Ámbito Laboral. Medicina Legal De Costa Rica, 32(1), 125-133.

Fonseca Balseca, J. F. (2014). Estudio De Microclima En Trabajadores Del Área De Tanques De Lodo Y Zarandas Durante La Perforación De Pozos Petroleros (Master's Thesis, Universidad Tecnologica Equinoccial. Facultad: Posgrados).

Pereira Fernández, J. (2016). Fachadas Vegetales: Análisis Del Impacto Medioambiental Y Aplicaciones.

Ortega-Corral, C., Contreras, M. E. C., Palafox, L. E., Elizondo, J. J. E., García-Macías, J. A., Aguilar, L., ... & Montoya, J. E. L. (2013). Caracterización De Sensores Implementados En Una Boya Marina. Congr. Int. Ing. Electrón. Mem. Electro, 35, 205-211.