



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE
MEDICIÓN, ANÁLISIS Y PURIFICADOR DE GASES CONTAMINANTES EN EL
AIRE UTILIZANDO ARDUINO Y UBIDOTS IoT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Electrónico

**AUTORES: ALEX MAURICIO GUATAPI YACHIMBA
EVERT IVAN GARCÍA BRAVO**

TUTOR: MSC. MÓNICA MARÍA MIRANDA RAMOS

Guayaquil-Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Alex Mauricio Guatapi Yachimba** con documento de identificación N°**1805669494** y **Evert Iván García Bravo** con documento de identificación N°**0958124596**, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

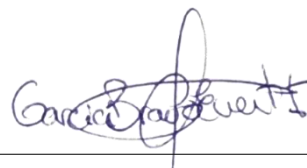
Guayaquil, 15 de septiembre del 2022

Atentamente,



Alex Mauricio Guatapi Yachimba

1805669494



Evert Iván García Bravo

0958124596

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Alex Mauricio Guatapi Yachimba con documento de identificación No. 1805669494 y Evert Iván García Bravo con documento de identificación No. 0958124596, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN, ANÁLISIS Y PURIFICADOR DE GASES CONTAMINANTES EN EL AIRE UTILIZANDO ARDUINO Y UBIDOTS IoT, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELECTRÓNICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.


Guayaquil, 15 de septiembre del 2022

Atentamente,



Alex Mauricio Guatapi Yachimba

1805669494



Evert Iván García Bravo

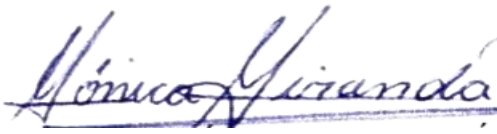
0958124596

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mónica María Miranda Ramos, con documento de identificación N°0917271785, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN, ANÁLISIS Y PURIFICADOR DE GASES CONTAMINANTES EN EL AIRE UTILIZANDO ARDUINO Y UBIDOTS IoT”, realizado por Alex Mauricio Guatapi Yachimba con documento de identificación N°1805669494 y por Evert Iván García Bravo con documento de identificación N°0958124596, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de septiembre del 2022

Atentamente,



MSc. Mónica María Miranda Ramos

0917271785

DEDICATORIA

Este proyecto lo quiero dedicar a Dios, por brindarme toda la sabiduría en el transcurso de la carrera también a mis padres, hermanas y en especial a mi hermano que en paz descanse. Cada una de estas personas fueron y son muy importante en este proceso de titulación ya que sin el apoyo de todos no lo habría conseguido.

Agradezco también a mi compañero de tesis ya que gracias al esfuerzo y su ayuda logramos dar un paso más hacia el futuro de nuestras carreras como profesionales.

Evert García

DEDICATORIA

Este Proyecto Técnico de Titulación está dedicado a:

A mis padres Guido y Martha quienes con todo su amor, esfuerzo y paciencia me han permitido llegar a cumplir un sueño más en mi vida.

A mis hermanas Gabriela y Melanie; y a mi cuñado José por su amor, cariño y apoyo incondicional, que han estado junto a mí en este proceso en todo momento. A toda mi familia porque con sus consejos, oraciones y palabras de aliento que hicieron de mí una persona de bien que de una u otra forma me acompañan en todos mis logros y sueños.

Finalmente quiero dedicar este Proyecto Técnico de Titulación a todos mis amigos de la Universidad, por ayudarme y apoyarme cuando más lo necesite, por brindarme una mano amiga en todos esos momentos difíciles que pasen a lo largo de la Carrera Universitaria.

Alex Guatapi

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios el motor principal de mi vida también quiero agradecer a mis padres por la ayuda emocional, espiritual y financiera que me brindaron, también a todas las personas que estuvieron dándome ánimos y sus mejores deseos para mi vida como mis hermanas, mi hermano, mi abuelita, mis padres, Dios y mi enamorada.

Personas maravillosas, que forman parte de mi vida y el motivo principal de mi lucha por seguir adelante día a día con esfuerzo y perseverancia. Dándole gracias a la congregación TDV, ya que siempre estuvieron orando por mi vida. Y a todos los docentes que me enseñaron e indujeron sus conocimientos de la carrera en mi vida, quienes han dedicado su hermoso tiempo para enseñarnos a ser buenos ingenieros.

Evert García

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por todas las bendiciones que me ha dado en esta vida, por guiarme en el camino del bien, ser mi apoyo y fortaleza en esos momentos de dificultades.

Gracias a mis padres: Guido y Martha; y a mis abuelos: Néstor y Mercedes, por ser los principales promotores de mis sueños, por ayudarme a creer y confiar en cumplir todas mis metas propuestas, además de brindarme su sabiduría, consejos, valores y principios.

Gracias a mi Hermana Gabriela y mi cuñado José, por siempre estar a mi lado brindándome su ayuda, confianza, buenos consejos y darme fuerza para vencer todas mis adversidades.

Agradezco a todos mis docentes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, por haberme compartido todos sus conocimientos a lo largo de toda la carrera Universitaria, de manera especial, a la MSc. Ingeniera Mónica Miranda Ramos tutora de nuestro Proyecto Técnico de Titulación quien me ha guiado con paciencia y rectitud como docente.

Alex Guatapi

RESUMEN

Año	Estudiantes	Tutor de Proyecto de Titulación	Título a conseguir	Proyecto de Titulación
2022	Evert Iván García Bravo Alex Mauricio Guatapi Yachimba	Ing. Mónica Miranda MSc.	Ingeniero Electrónico	“Diseño e implementación de un prototipo para un sistema de medición, análisis y purificador de gases contaminantes en el aire utilizando Arduino y Ubidots IoT”

El proyecto técnico presenta el estudio de un diseño e implementación de un prototipo para un sistema de medición, análisis y purificador de gases contaminantes en el aire. El prototipo consta con un sistema de monitoreo compuesto por una pantalla HMI Nextion y varios sensores electroquímicos para controlar la calidad del aire, los cuales poseen un mecanismo muy interesante, ya que tienen una resistencia interna que su valor puede llegar a variar al exponerse a determinados gases, además se puede calibrar la sensibilidad de cada uno para obtener una mejor precisión en la lectura de datos. El sistema de monitoreo además de estar incorporado en el mismo prototipo de manera local, también se puede realizar el monitoreo de manera remota, mediante la comunicación por red Wifi con la plataforma Ubidots, en donde, además de poder visualizar la lectura de los sensores, se puede obtener un análisis completo de los datos recopilados en la base de datos de la misma plataforma.

El prototipo consta con un sistema de filtración de aire, utilizando filtros de polvo, filtros HEPA, filtros de carbón activado y una turbina. El funcionamiento de la turbina

depende netamente de los sensores de control de calidad del aire, al momento de detectar grandes concentraciones de contaminantes en el aire.

Los tipos de gases contaminantes a medir y analizar por el prototipo son: el Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Amoniacó (NH₃), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃), Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), adicionalmente se tiene en cuenta el nivel de temperatura y humedad en el ambiente.

La finalidad de este proyecto técnico es ayudar a mantener un ambiente limpio y libre de todo tipo de contaminación que se encuentre en el aire dentro de ambientes interiores de viviendas, edificios, hospitales, escuelas, etc., además de los beneficios de ayudar a las personas que sufren enfermedades respiratorias, con la ayuda de equipos tecnológicos de bajo costo, un mínimo consumo de energía y de fácil manipulación para el usuario.

Palabras Claves: Pantalla Nextion, Arduino, micropartículas pm_{2.5}, pm₁₀, sensores MQ, filtro hepa y Sensores MQ.

ABSTRACT

Year	Students	Degree Project Tutor	University degree to get	Technical Degree Project
2022	Evert Iván García Bravo Alex Mauricio Guatapi Yachimba	Ing. Mónica Miranda MSc.	Electronic Engineer	“Design and implementation of a prototype for a system of measurement, analysis and purifier of polluting gases in the air using Arduino and Ubidots IoT”

The technical project presents the study of a design and implementation of a prototype for a system for measuring, analyzing and purifying polluting gases in the air. The prototype consists of a monitoring system made up of a Nextion HMI screen and several electrochemical sensors to control air quality, which have a very interesting mechanism, since they have an internal resistance whose value can vary when exposed to certain gases, in addition, the sensitivity of each one can be calibrated to obtain a better precision in the data reading. The monitoring system, in addition to being incorporated into the same prototype locally, can also be monitored remotely, through Wi-Fi network communication with the Ubidots platform, where, in addition to being able to view the reading of the sensors, a complete analysis of the data collected can be obtained in the database of the same platform.

The prototype consists of an air filtration system, using dust filters, HEPA filters, activated carbon filters and a turbine. The operation of the turbine depends clearly on the air quality control sensors, when detecting large concentrations of pollutants in the air. The types of polluting gases to be measured and analyzed by the prototype are: Carbon Dioxide (CO₂), Nitrogen Dioxide (NO₂), Ammonia (NH₃), Carbon Monoxide

(CO), Ozone (O₃), Particulate Matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), additionally the level of temperature and humidity in the environment is taken into account.

The purpose of this technical project is to help maintain a clean environment free of all types of contamination found in the air inside the interior environments of homes, buildings, hospitals, schools, etc., in addition to the benefits of helping people suffering from respiratory diseases, with the help of low-cost technological equipment, low energy consumption and easy handling for the user.

Keywords: Nextion display, Arduino, microparticles pm_{2.5}, pm₁₀, MQ sensors, hepa filter and MQ sensors.

INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DEDICATORIA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	X
INDICE GENERAL.....	XII
INDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XXIII
INTRODUCCIÓN	1
1. EL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Importancia y alcances	4
1.4. Delimitación del problema	4
1.4.1. Temporal	4
1.4.2. Espacial	4
1.4.3. Académica.....	5
1.5. Objetivos	5

1.5.1.	Objetivo General.....	5
1.5.2.	Objetivos Específicos.....	5
2.	Marco teórico referencial.....	6
2.1.	Arduino Mega.....	6
2.3.	Modulo wifi esp8266 “Nodemcu”.....	7
2.4.	Sensor MQ-131.....	8
2.5.	Sensor MQ-7.....	8
2.6.	Sensor MQ-135.....	9
2.7.	Sensor PMS5003.....	9
2.8.	Sensor de temperatura y humedad DHT11.....	9
2.9.	Cooler - ventilador axial.....	10
2.10.	Sistema de filtración de aire de tres etapas.....	11
2.12.	Ubidots.....	12
2.13.	Dimmer PWM AC para Arduino.....	13
2.14.	AutoCAD.....	13
2.15.	Dióxido de carbono “CO2”.....	14
2.16.	Dióxido de nitrógeno “NO2”.....	15
2.17.	Monóxido de carbono “CO”.....	16
2.18.	Amoniacó “NH3”.....	18
2.19.	Ozono “O3”.....	18
2.20.	Micropartículas “PM10” y “PM2.5”.....	19
3.	DISEÑO.....	21
3.1.	Diseño de la pantalla Nextion.....	21
3.2.	Diseño de interfaz para el sistema de monitoreo de Gases en la Plataforma Ubidots.....	31
3.3.	Diseño AutoCAD del prototipo.....	38
4.	IMPLEMENTACIÓN.....	41
4.1.	Calculo y Dimensionamiento para el extractor de aire.....	41
4.2.	Configuración del Sensor MQ-135 para la detección de Dióxido de Carbono (CO2).....	44

4.3.	Configuración del Sensor MQ-135 para la detección de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	46
4.4.	Configuración del Sensor MQ-135 para la detección de Amoníaco (NH ₃)	49
4.5.	Configuración del Sensor MQ-7 para la detección de Monóxido de Carbono (CO).....	51
4.6.	Configuración del Sensor MQ-131 para la detección de Ozono (O ₃)	54
4.7.	Configuración del Sensor DHT11 para la detección de temperatura y humedad	56
4.8.	Configuración del Sensor PMS 5003 para la detección de PM10 y PM2.5	57
4.9.	Calibración de sensores	58
4.9.1.	Dióxido de Carbono – Sensor MQ-135	58
4.9.2.	Amoníaco – Sensor MQ-135.	61
4.9.3.	Dióxido de Nitrógeno – Sensor MQ-135.....	63
4.9.4.	Monóxido de Carbono – Sensor MQ-7.....	64
4.9.5.	Ozono – MQ-131.	67
4.10.	Diagrama de bloques del Sistema.	69
4.11.	Diagrama de flujo del Sistema.	70
4.12.	Diagrama de conexión electrónica del prototipo.....	71
4.13.	Programación Arduino.	72
4.14.	Programación ESP8266.....	87
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	91
5.1.	Medición de gas Dióxido de carbono en el módulo y en la plataforma Ubidots	91
5.2.	Medición de gas Monóxido de carbono en el módulo y en la plataforma Ubidots	95
5.3.	Medición de gas Amoníaco en el módulo y en la plataforma Ubidots	99
5.4.	Medición de gas Dióxido de Nitrógeno en el módulo y en la plataforma Ubidots	103
5.5.	Medición de gas Ozono en el módulo y en la plataforma Ubidots	107

5.6.	Medición de PM 10 Y PM 2.5 en el módulo y en la plataforma Ubidots	111
5.7.	Medición de Temperatura y Humedad en el módulo y en la plataforma Ubidots	114
5.8.	Representación del Análisis de estudio en la plataforma Ubidots mediante Gráfica de Barras y Gráfica Circular	115
5.9.	Representación del Análisis de estudio en la plataforma Ubidots mediante Gráfica General.	117
5.10.	Sistema Purificador de Gases Contaminantes	119
6.	CONCLUSIONES	123
7.	RECOMENDACIONES	125
8.	PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN VINCULADOS	127
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
10.	ANEXOS	135

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arduino Mega herramienta a utilizar en proyectos tecnológicos.....	6
Figura 2. Pantalla Nextion de 2,4” pulgadas.	7
Figura 3. ESP8266 Nodemcu	7
Figura 4. Sensor de Ozono MQ-131.....	8
Figura 5. Sensor MQ-7 Compatible con la placa Arduino.	8
Figura 6. Sensor MQ-135 Compatible con la placa Arduino.	9
Figura 7. Sensor PMS5003 Compatible con la placa Arduino.....	9
Figura 8. Sensor Dht11 Compatible con la placa Arduino.....	10
Figura 9. Cooler ventilador.....	11
Figura 10. Estructura de un sistema de filtración de aire de 3 etapas.....	11
Figura 11. Fuente conmutada de 5v DC - 10A.....	12
Figura 12. Plataforma Ubidots.....	12
Figura 13. Dimmer PWM AC	13
Figura 14. Logo del software AutoCAD de Autodesk.	14
Figura 15. Molécula de CO2 representada por Lewis	14
Figura 16. Dióxido de carbono producido por vehículos	16
Figura 17. Monóxido de carbono	17
Figura 18. Molécula de ozono	19
Figura 19. Material particulado PM10 y PM2.5.....	20
Figura 20. Selección del tipo de pantalla en el Software Nextion Editor.....	22
Figura 21. Creación de “Font” para el diseño de la pantalla.	22
Figura 22. Interfaz de Nextion - proceso de crear página Inicio.	23
Figura 23. Ubicación de display y evento.	24
Figura 24. Creación de páginas en la pantalla Nextion.	24

Figura 25. Contenido de la página “0”, llamada “Inicio” en la pantalla Nextion.	25
Figura 26. Contenido de la página “1”, llamada “Menú” en la pantalla Nextion.	25
Figura 27. Contenido de la página “2”, llamada “Contenido” en la pantalla Nextion ...	26
Figura 28. Contenido de la página “3”, llamada “Contenido2” en la pantalla Nextion. ...	26
Figura 29. Contenido de la página “4”, llamada “Temp-humd” en la pantalla Nextion ...	27
Figura 30. Contenido de la página “5”, llamada “Sensores_1” en la pantalla Nextion. ...	27
Figura 31. Contenido de la página “6”, llamada “Sensores_2” en la pantalla Nextion. ...	28
Figura 32. Contenido de la página “7”, llamada “Sensores_3” en la pantalla Nextion. ...	28
Figura 33. Contenido de la página “8”, llamada “Sensores_4” en la pantalla Nextion. ...	29
Figura 34. Contenido de la página “9”, llamada “Dormir” en la pantalla Nextion.	29
Figura 35. Contenido de la página “10”, llamada “Config” en la pantalla Nextion.	30
Figura 36. Contenido de la página “11”, llamada “QR” en la pantalla Nextion.	30
Figura 37. Contenido de la página “12”, llamada “Purificador” en la pantalla Nextion ...	31
Figura 38. Registro de cuenta en Ubidots.	31
Figura 39. Interfaz de trabajo en Ubidots.	32
Figura 40. Panel de selección de dispositivos.	32
Figura 41. Selección del dispositivo.	33
Figura 42. Dispositivo agregado en la plataforma Ubidots.	33
Figura 43. Variables creadas en la plataforma Ubidots.	34
Figura 44. Visualización de datos de la variable Temperatura.	34
Figura 45. Interfaz de eventos para el Dashboard.	35
Figura 46. Panel de widgets en Ubidots.	35
Figura 47. Visualización de las variables creadas en la sección dispositivos.	36
Figura 48. Visualización de variables en el tablero Monitoreo de Variables.	36
Figura 49. Visualización de gráficas en Ubidots.	37

Figura 50. Interfaz para el análisis de datos.	38
Figura 51. Diseño de la parte superior del prototipo en AutoCAD 3D.	39
Figura 52. Diseño de la parte media del prototipo en AutoCAD 3D.	39
Figura 53. Diseño de la parte inferior del prototipo en AutoCAD 3D.	40
Figura 54. Dimensiones de un ambiente cerrado.	41
Figura 55. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ 135 en el software WPD.	44
Figura 56. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Dióxido de Carbono.	44
Figura 57. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para CO ₂	45
Figura 58. Visualización de datos en el software WPD.	45
Figura 59. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de CO ₂ en Excel.	46
Figura 60. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ-135 en el software WPD.	46
Figura 61. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Dióxido de Nitrógeno.	47
Figura 62. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para NO ₂	47
Figura 63. Visualización de datos en el software WPD.	48
Figura 64. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de NO ₂ en Excel.	48
Figura 65. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ-135 en el software WPD.	49
Figura 66. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Amoniac.	49
Figura 67. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para NH ₃	50
Figura 68. Visualización de datos en el software WPD.	50
Figura 69. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de NH ₃ en Excel.	51

Figura 70. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ-7 en el software WPD.	51
Figura 71. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Monóxido de Carbono.....	52
Figura 72. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para CO.	52
Figura 73. Visualización de datos en el software WPD.	53
Figura 74. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de CO en Excel.	53
Figura 75. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ-131 en el software WPD.	54
Figura 76. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Ozono.	54
Figura 77. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para O3.....	55
Figura 78. Visualización de datos en el software WPD.	55
Figura 79. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de O3 en Excel.	56
Figura 80. Código del Sensor DHT11.	57
Figura 81. Código del Sensor PMS 5003.	58
Figura 82. Ecuación y curva de sensibilidad de CO2.....	59
Figura 83. Ecuación y curva de sensibilidad de NH3.....	61
Figura 84. Ecuación y curva de sensibilidad de NO2.....	63
Figura 85. Ecuación y curva de sensibilidad de CO.....	65
Figura 86. Ecuación y curva de sensibilidad de O3.	67
Figura 87. Diagrama de bloques del sistema.	69
Figura 88. Diagrama de flujo del sistema.	70
Figura 89. Vista general de las conexiones del prototipo.....	71
Figura 90. Medición del Dióxido de Carbono (CO2) con el Sensor MQ-135.	91
Figura 91. Visualización de datos del Dióxido de Carbono (CO2) en la pantalla HMI Nextion	92

Figura 92. Visualización de datos del Dióxido de Carbono (CO ₂) en la plataforma Ubidots.....	92
Figura 93. Gráfica del Dióxido de Carbono (CO ₂) en la plataforma Ubidots.	93
Figura 94. Comparación de las curvas de sensibilidad del Dióxido de Carbono.	93
Figura 95. Medición del Monóxido de carbono (CO) con el Sensor MQ-7.....	95
Figura 96. Visualización de datos del Monóxido de Carbono (CO) en la pantalla HMI Nextion.	96
Figura 97. Visualización de datos del Monóxido de Carbono (CO) en la plataforma Ubidots.....	96
Figura 98. Gráfica del Monóxido de Carbono (CO) en la plataforma Ubidots.....	97
Figura 99. Comparación de las curvas de sensibilidad del Monóxido de Carbono.....	97
Figura 100. Medición del Amoníaco (NH ₃) con el Sensor MQ-135.....	99
Figura 101. Visualización de datos del Amoníaco (NH ₃) en la pantalla HMI Nextion.	100
Figura 102. Visualización de datos del Amoníaco (NH ₃) en la plataforma Ubidots...	100
Figura 103. Gráfica del Amoníaco (NH ₃) en la plataforma Ubidots.	101
Figura 104. Comparación de las curvas de sensibilidad del Amoníaco.	101
Figura 105. Medición del Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) con el Sensor MQ-135.	103
Figura 106. Visualización de datos del Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) en la pantalla HMI Nextion.....	104
Figura 107. Visualización de datos del Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) en la plataforma Ubidots.....	104
Figura 108. Grafica de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) en la plataforma Ubidots.	105
Figura 109. Comparación de las curvas de sensibilidad del Dióxido de Nitrógeno.....	105
Figura 110. Medición del Ozono (O ₃) con el Sensor MQ-131.....	107
Figura 111. Visualización de datos del Ozono (O ₃) en la pantalla HMI Nextion.	108
Figura 112. Visualización de datos de Ozono (O ₃) en la plataforma Ubidots.....	108

Figura 113. Grafica de Ozono (O3) en la plataforma Ubidots.	109
Figura 114. Comparación de las curvas de sensibilidad del Ozono.	109
Figura 115. Medición del material particulado PM 10 y PM 2.5 con el Sensor PMS 5003.	111
Figura 116. Visualización de datos del material particulado PM 10 y PM 2.5 en la pantalla HMI Nextion.	112
Figura 117. Visualización de datos del PM10 en la plataforma Ubidots.	112
Figura 118. Visualización de datos del PM2.5 en la plataforma Ubidots.	112
Figura 119. Gráfica del PM10 en la plataforma Ubidots.	113
Figura 120. Grafica de PM2.5 en la plataforma Ubidots.....	113
Figura 121. Visualización de datos de Temperatura y Humedad en la pantalla HMI Nextion.	114
Figura 122. Visualización de datos de Temperatura y Humedad en la plataforma Ubidots.....	114
Figura 123. Primer análisis en la plataforma Ubidots.	115
Figura 124. Segundo análisis en la plataforma Ubidots.	116
Figura 125. Tercer análisis en la plataforma Ubidots.....	116
Figura 126. Cuarto análisis en la plataforma Ubidots.	117
Figura 127. Gráfica general de los gases contaminantes en la plataforma Ubidots.	118
Figura 128. Sistema Purificador de Gases Contaminantes del prototipo.	119
Figura 129. Sistema Purificador de Gases Contaminantes del prototipo.	120
Figura 130. Interfaz del control manual de velocidad de la turbina.	121
Figura 131. Interfaz del Control automático de velocidad de la turbina.	121
Figura 132. Filtración de partículas de humo utilizando el prototipo.	122
Figura 133. Detección de micropartículas de humo en la pantalla HMI Nextion.	122
Figura 134. Plano de prototipo vista inferior.....	136

Figura 135. Plano de la parte media del prototipo.....	136
Figura 136. Plano 2D de la parte superior del prototipo	137
Figura 137. Gráfica de sensibilidad MQ-135.....	144
Figura 138. Gráfica de sensibilidad MQ-7.....	144
Figura 139. Gráfica de sensibilidad MQ-131.....	145
Figura 140. Soporte para los filtros y la turbina	145
Figura 141. Ensamble del prototipo y los componentes electrónicos.	146
Figura 142. Conexión del porta fusible de protección 110V-10A	146
Figura 143. Realizando conexiones eléctricas del prototipo	147
Figura 144. Pegar etiquetas y placa metálica al prototipo.....	147
Figura 145. Montaje de la turbina extractora de aire y los filtros de aire.....	148
Figura 146. Vista del prototipo terminado.....	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Tabla de niveles permitidos de CO ₂ en el aire.....	15
Tabla II Tabla de Niveles permitidos de NO ₂ en el aire.	16
Tabla III Niveles permitidos de CO en el aire.	17
Tabla IV Tabla de Niveles permitidos de NH ₃ en el aire.....	18
Tabla V Tabla de Niveles permitidos de O ₃ en el aire.....	19
Tabla VI Tabla de Niveles permitidos de PM ₁₀ en el aire.....	21
Tabla VII Tabla de Niveles permitidos de PM _{2.5} en el aire.	21
Tabla VIII Tabla de datos calculados para CO ₂	94
Tabla IX Tabla de datos calculados para CO.	98
Tabla X Tabla de datos calculados para NH ₃	102
Tabla XI Tabla de datos calculados para NO ₂	106
Tabla XII Tabla de datos calculados para O ₃	110
Tabla XIII Tiempo de renovación de aire por hora según la norma DIN.....	135
Tabla XIV Datos técnicos del sensor MQ131	138
Tabla XV Ficha Técnica sensor MQ-7	139
Tabla XVI Ficha técnica del Sensor de temperatura y humedad DHT11	139
Tabla XVII Características técnicas del sensor pms5003.....	140
Tabla XVIII Datos técnicos del sensor MQ-135.	140
Tabla XIX Datos técnicos del Dimmer de velocidad PWM para variar el voltaje AC.....	141
Tabla XX Fuente de alimentación de 5V-10A para el prototipo	141
Tabla XXI Datos técnicos del controlador Arduino mega 2560	142
Tabla XXII Datos técnicos del modulo ESP8266.	142

Tabla XXIII Cálculos de la potencia y corriente “DC” total consumida en el prototipo.....	143
Tabla XXIV Consumo de energía eléctrica AC del prototipo.....	143
Tabla XXV Presupuesto de la inversión del prototipo.	149
Tabla XXVI Cronograma de actividades del proyecto de titulación.....	150

INTRODUCCIÓN

A través de este proyecto técnico se pretende realizar el estudio a una propuesta experimental y buscar una nueva alternativa tecnológica para tratar de mejorar la calidad del aire que se respira dentro de ambientes interiores, utilizando un sistema de medición, análisis y purificador de gases contaminantes, disponiendo de sensores electroquímicos, a la vez dar a conocer a las personas, si la calidad del aire que respiran dentro de estos ambientes es el más óptimo para la salud, además de conocer los diferentes tipos de gases contaminantes que existen y se encuentran presentes en el aire. Estos tipos de gases contaminantes como el Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Amoníaco (NH₃), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃), Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), se encuentran presentes en el ambiente, aparte de ser tóxicos, son muy peligrosos para la salud de las personas, siempre y cuando exista una gran concentración de ellos en el ambiente, incluso pueden llegar a ser mortíferos para las personas que sufren algún tipo de enfermedades respiratoria.

En la actualidad, la tecnología es una herramienta muy importante y necesaria para ser capaz de crear algo nuevo o mejorar el desarrollo en este tipo de proyectos, con la finalidad de ayudar a nuestra comunidad.

El proyecto consta de cinco secciones, la primera será la descripción del problema que se va a tratar en este proyecto técnico, importancia, alcance, delimitaciones y objetivos a cumplir. En la segunda sección que es el Marco Teórico que contiene el estado de arte de la investigación y los componentes que se utilizan en la implementación del prototipo. En la tercera sección que es el Diseño que contiene el diseño de la pantalla HMI, Ubidots y el modelo 3D del prototipo. Para la cuarta sección que es la Implementación que contiene la calibración de los sensores, diagramas del funcionamiento y la programación del prototipo. La quinta y última sección que es el Análisis de resultados que abarca las diferentes pruebas que se formularon.

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la actualidad en la ciudad de Guayaquil la mayoría de la población en zonas urbanas desarrollan sus actividades diarias en instalaciones de ambiente cerrado tales como viviendas, aulas de clases, empresas, oficinas, hospitales, talleres, etc. Al permanecer mucho tiempo en este tipo de lugares, se está expuesto a respirar una mala calidad del aire, ya que en el aire existen varios tipos de material particulado y todo tipo de gases tóxicos que son emitidos por el humo de vehículos, humo de tabaco o de las diferentes industrias que trabajan con material químico, incendios forestales, gases naturales, bacterias y virus que contaminan al medio ambiente, causando todo tipo de enfermedades que afecten a la salud de las personas.

Los estudios y registros que son realizados en todo el mundo se enfocan solo en la contaminación del aire en ambientes exteriores, dejando atrás la contaminación que se produce en ambientes interiores, según expertos indican que el aire que respiramos en el interior de una vivienda puede llegar a índices de contaminación superiores a los de la calle.

Según estudios realizados por Esri, una empresa estadounidense que se dedica a el desarrollo y comercialización de software enfocado en sistemas de información geográfica, Esri indicó que una de las principales causas de contaminación en el aire de la ciudad de Guayaquil son los automotores, los motores de los vehículos emiten todo tipo de gases tóxicos y partículas que causan la contaminación del aire , los gases que se producen en grandes cantidades son: óxidos nitrosos NO_x, monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO₂, compuestos orgánicos volátiles y también pequeñas partículas de polvo.(Carrillo, 2012)

Además, uno de los diarios más populares del país el diario El Telégrafo indicó que en el último estudio, la ciudad de Guayaquil produce 6,8 toneladas de dióxido de carbono por año, también estudios que se realizaron en los últimos años en la ciudad de Guayaquil se sabe que un 39% de la contaminación proviene del transporte (combustión de gasolina y gas GLP), 25% de residuos (descomposición de la materia), 16% de zonas residenciales (electricidad y gas GLP), 14% del sector industrial (electricidad y diésel) y 6% del comercio institucional. (el Telégrafo, 2016)

1.2. Antecedentes

En la ciudad de Guayaquil se evidencia altos niveles de contaminación por diversos gases tóxicos como dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y diferentes tipos de material particulado. Este estudio sobre la calidad del aire fue realizado por la Universidad Central del Ecuador, el Municipio de Guayaquil y la empresa Petroecuador en el 2004. El tráfico que se produce en las vías urbanas de la ciudad de guayaquil trae como consecuencia grandes concentraciones de gases tóxicos, causando la irritación de ojos, vías respiratorias inflamadas y además causa la destrucción de zonas verdes y animales que habitan estas zonas. El estudio realizado estableció que la producción de dióxido de nitrógeno supera las 0,27 ppm, cuando lo permitido por la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire es 0,08 ppm en veinticuatro horas y los niveles del dióxido de azufre supera las 0,13 PPM en veinticuatro horas. (el Universo, 2005)

La Organización Mundial de la Salud “OMS” estableció ciertas directrices que brindan orientación relativa a umbrales y límites para todo tipo de contaminantes atmosféricos para evitar riesgos sanitarios. Las directrices son aplicadas en todo el mundo para llevar acabo un monitoreo de la contaminación en el medio ambiente, este sistema se basa en la evaluación, realizada por científicos expertos en contaminantes comunes.(OMS, 2021)

1.3. Importancia y alcances

En la actualidad, la contaminación del aire en el medio ambiente es uno de los principales objetos de estudio en todo el mundo. Sin embargo, dichos estudios y registros se enfocan solo en la contaminación del aire que existe en los ambientes exteriores, dejando en segundo plano la contaminación que se genera en los ambientes interiores. La contaminación del aire en los ambientes interiores es el principal riesgo del medio ambiente que afectan a la salud, pero las personas no son conscientes de ello. La mayoría de las personas pasan gran parte del tiempo en espacios interiores, como las viviendas, aulas de estudio, oficinas, etc. Si la calidad del aire en estos ambientes interiores no es óptimo y no tienen una buena ventilación, pueden acumular un alto nivel de contaminación. Esta gran problemática es perjudicial para la salud de las personas en general, además de las personas que sufren de enfermedades como alergia, asma, bronquitis y otros tipos enfermedades pulmonares. Es por ello por lo que se busca promover el uso de este tipo de proyectos tecnológicos que brindan el beneficio de conocer los diferentes tipos de gases contaminantes y mejorar la calidad del aire que respiran dentro de estos ambientes interiores, además se busca motivar a los estudiantes puedan aplicar sus ideas y desarrollar este tipo de equipos tecnológicos para ayudar a su comunidad.

1.4. Delimitación del problema

1.4.1. Temporal

El objeto de la investigación y desarrollo de este proyecto se implementó en la ciudad de Guayaquil (Ecuador) durante los años 2021 y 2022.

1.4.2. Espacial

El prototipo será un equipo compacto y podrá ser transportado con total facilidad de una estancia a otra. Sin embargo, el prototipo será elaborado en casa, considerando la emergencia sanitaria en la que se encuentra el país y por ende será donado a la Carrera de Ingeniería Electrónica para el laboratorio de Automatización Industrial.

1.4.3. Académica

Este proyecto técnico se realizará cumpliendo con las normas impuestas por la Universidad Politécnica Salesiana basado en su alto grado investigativo y modelo de presentación para proyectos de titulación, también se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos durante todo el proceso de estudio en materias como: Electiva II, Sensores y Transductores, Electrónica Digital, Electrónica Analógica, Sistemas Microprocesadores I y II, Energía y Medio Ambiente.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo para un sistema de medición, análisis y purificación de gases contaminantes en el aire utilizando Arduino y Ubidots IoT.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Medir el nivel de contaminación del aire utilizando sensores de gas en una vivienda.
- Desarrollar programación para la comunicación de los sensores mediante con la plataforma Ubidots IoT y en la pantalla HMI NEXTION.
- Monitorear y Analizar los datos de los sensores en tiempo real, en la plataforma Ubidots IoT y en la pantalla HMI NEXTION.

2. Marco teórico referencial

2.1. Arduino Mega

Es una placa electrónica mostrada en la figura 1 que utiliza un microcontrolador desarrollado por Atmel, este controlador puede ser reprogramado y utiliza el lenguaje de programación processing en C++. Es de fácil entendimiento, de código abierto y permite interactuar con diferentes tipos de sensores y actuadores ya que cuenta con varios puertos de entradas y salidas, puertos analógicos y puertos digitales.(Arduino, 2018)

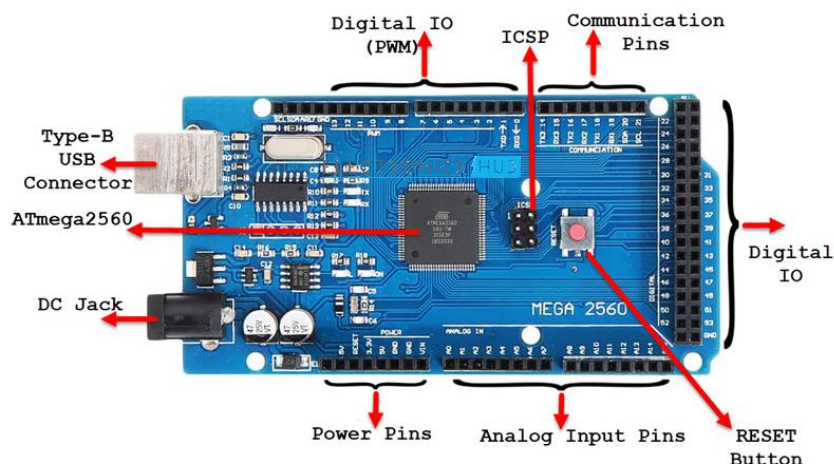


Figura 1. Arduino Mega herramienta a utilizar en proyectos tecnológicos.(Teja, 2021)

2.2. Nextion

La Pantalla Nextion mostrada en la figura 2 es una solución para la interacción hombre con la máquina (HMI) que proporciona una interfaz, donde permite al humano visualizar procesos de control en la industria.(Suelos et al., 2018)

Esta pantalla Nextion utiliza el protocolo de comunicación UART, contiene una interfaz gráfica que se puede rediseñar, también permite monitorear y controlar procesos fácilmente, consume poca cantidad de energía de tan solo 5V “voltios” y 65 mA “miliamperios” en modo Sleep y en estado de operación su máximo a consumir es 100mA a 200mA.



Figura 2. Pantalla Nextion de 2,4” pulgadas.(nextion, 2022)

2.3. Modulo wifi esp8266 “Nodemcu”

Este módulo wifi esp8266 permite la conexión a una red inalámbrica para enviar o recibir datos desde el internet. Este módulo cuenta con un código abierto, puede ser reprogramable, su precio bajo es accesible para la sociedad y poder realizar desde un control sencillo hasta uno más complejo.

El microcontrolador MCU se lo puede programar con la plataforma IDE de Arduino con el lenguaje C++, otros leguajes de programación compatibles con este módulo son C, Micro Python o Scratch. El módulo mostrado en la figura 3 trabaja con una frecuencia 802.11 b/g/n, tiene incluido el protocolo TCP/IP, su alimentación de voltaje es de 5V DC, tiene incluido una memoria de flas externa de 4MB, la comunicación serial es por UART, la potencia que entrega este módulo es de +19.5dBm, con un protocolo 802.11b.(M. S. Naylamp, 2021)

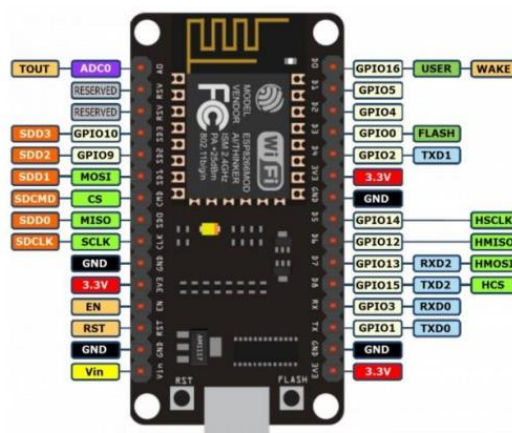


Figura 3. ESP8266 Nodemcu. (Aziz, 2018)

2.4. Sensor MQ-131

Este sensor mostrado en la figura 4 es capaz de detectar concentraciones de ozono en el medio ambiente, donde los niveles de altas concentraciones pueden ser mortal para las personas.

Es un sensor con un rango de medición bien amplio, tiene una alta sensibilidad al ozono, cuenta con un circuito electrónico de accionamiento simple mostrado en la figura 4 es capaz de detectar sobrecargas de concentración de ozono industrial, doméstico y portátil y en la Tabla XIV del anexo C se visualiza los datos técnicos del sensor. (hubot, 2018)



Figura 4. Sensor de Ozono MQ-131. (Plastimedia, 2020)

2.5. Sensor MQ-7

El sensor mostrado en la figura 5 se utiliza para realizar el proceso de detección de monóxido de carbono que se encuentra presente en el aire. Este sensor tiene una alta sensibilidad al CO "Monóxido de Carbono" y H₂ "Hidrogeno" puede realizar mediciones entre (20 a 2000) partes por millón en la Tabla XV del anexo C se visualiza los datos técnicos del sensor. (M. Naylamp, 2021)



Figura 5. Sensor MQ-7 Compatible con la placa Arduino. (M. Naylamp, 2021)

2.6. Sensor MQ-135

Este sensor mostrado en la figura 6 es capaz de captar diferentes tipos de gases en una oficina o laboratorios como el Amoníaco “NH3”, alcohol “NO2”, Dióxido de Carbono “CO2”, benceno, humo entre otros, su fuente de alimentación es de 5V, en la Tabla XVIII del anexo C se visualiza los datos técnicos del sensor.(Olimex, 2013)



Figura 6. Sensor MQ-135 Compatible con la placa Arduino. (MakerElectronico, 2022)

2.7. Sensor PMS5003

Este sensor mostrado en la figura 7 es capaz de medir la calidad del aire, midiendo la concentración de partículas PM2.5 y PM10 que se refiere a partículas desde 2.5 micrones a 10 micrones de diámetro.(Yong, 2016)



Figura 7. Sensor PMS5003 Compatible con la placa Arduino. (Yong, 2016)

2.8. Sensor de temperatura y humedad DHT11

Este sensor de humedad y temperatura es un sensor de tipo capacitivo de bajo costo. La comunicación de datos es por un pin digital, los beneficios de este sensor es el rango de monitoreo, durabilidad a largo plazo, y tiene un bajo consumo de energía en la tabla

XVI del anexo C se puede observar los datos técnicos de funcionamiento del sensor. (naylamp, 2021)

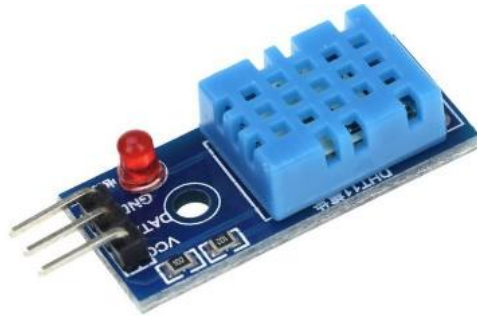


Figura 8. Sensor Dht11 Compatible con la placa Arduino. (TEcmikro, 2022)

2.9. Cooler - ventilador axial

Este ventilador sirve para mantener componentes electrónicos a temperaturas estables y también puede tener varias aplicaciones como en restaurantes, garajes, parqueaderos o habitaciones cerradas, ya que se los utiliza para lugares que requieran una ventilación constante.

El rango de voltaje necesario para el accionamiento del Cooler mostrado en la figura 9 es de “110v – 120v” AC, velocidad máxima de 2400 RPM “revoluciones por minuto”, el nivel de ruido generado en su modo de operación máxima es de 54dBA “decibelio ponderado” lo cual indica que es bajo y no es dañino para el oído. (Amazon, 2022)



Figura 9. Cooler ventilador.(Amazon, 2022)

2.10. Sistema de filtración de aire de tres etapas.

Es un sistema del filtrado de aire se estructura por tener 3 filtros para la eliminar de todo tipo de partícula contaminante suspendida en el aire. El filtro de tres etapas está compuesto por un filtro para partículas de polvo, pelusa y polen, un filtro HEPA para bacterias, hongos, virus y un filtro de carbón activado para malos olores. (Carrasco, 2022)

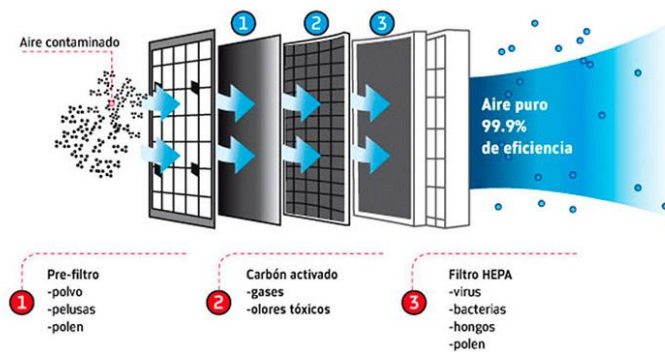


Figura 10. Estructura de un sistema de filtración de aire de 3 etapas.(Carrasco, 2022)

2.11. Fuente de poder

La fuente conmutada o fuente de alimentación de 5V DC – 10A mostrado en la figura 11 es un dispositivo electrónico capaz de suministrar 50W de potencia a un circuito electrónico de bajo consumo de corriente. Esta fuente es capaz de convertir el

voltaje alterno AC a voltaje directo DC, también tiene incluida la protección contra cortocircuito, sobrecargas y sobretensiones. (Unit, 2016)



Figura 11. Fuente conmutada de 5v DC - 10A. (Unit, 2016)

2.12. Ubidots

Es una Plataforma IoT que permite comunicarse con tarjetas de red inalámbrica, está ayuda a controlar y monitorear el estado en el que se encuentra un proceso electrónico, ya sea una variable de temperatura, humedad o incluso controlar salidas analógicas o digitales en tiempo real, creando tableros para monitorear y visualizar las variables. Es capaz de conectarse con otras plataformas y usar herramientas para el análisis de datos.

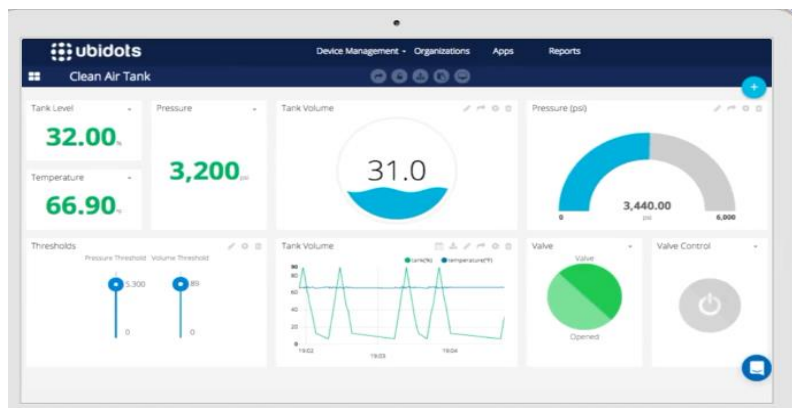


Figura 12. Plataforma Ubidots. (Ubidots, 2022)

Esta plataforma cuenta con un servicio gratuito para conectar tres dispositivos al mismo tiempo en su versión Free. Está dirigido para brindar una ayuda confiable para controlar nuestros equipos electrónicos como sensores o actuadores ya sea para el

accionamiento de hardware o software conectados vía internet por medio de un microcontrolador Wifi donde este se conecta al token o API que proporciona la plataforma para la interacción con los equipos remotamente. Incluyendo las librerías de Ubidots en el software IDE de Arduino nos ayuda con la conectividad y esta cuenta con protocolos de comunicación ya sea HTTPS, UDP, TCP y MQTT. De los cuales se puede utilizar el protocolo necesario por el usuario final. (Espinosa Apolo & Orellana Guayas, 2021)

2.13. Dimmer PWM AC para Arduino

Control de grado de atenuación por medio de señal PWM o grado de voltaje para 50 Hz y 60 Hz AC este módulo está diseñado para el control de la magnitud para equipos de voltaje AC con magnitud regulable, la potencia de recursos de calefacción AC y Voltaje de señal de rapidez del motor por medio de un microcontrolador capaz de emitir y controlar señales PWM en la tabla XIX se observa los datos técnicos del control de velocidad visualizado en la figura 13 (Amazon, 2018)



Figura 13. Dimmer PWM AC. (Amazon, 2018)

2.14. AutoCAD

Es un software que permite al usuario dibujar y diseñar geometrías 2D y modelos 3D, también es muy recomendado al momento de realizar diseños mecánicos, planos u otros. Automatiza labores como, ejemplificando, el diseño de dibujos, creación de objetos, la añadidura de bloques, la construcción de planos y muchísimo más. Crea un

lugar de trabajo personalizado para aumentar la productividad con aplicaciones que se complementan en sí mismo y API.(Autodesk, 2022)



Figura 14. Logo del software AutoCAD de Autodesk. (Ignacio, 2018)

2.15. Dióxido de carbono “CO₂”

El dióxido de carbono (CO₂) pertenece a los compuestos más relevantes en la naturaleza y es conocido a partir del primer siglo de la raza humana. Está formado por una molécula lineal, se descubrieron sus efectos letales una vez que se muestra en altas concentraciones en sitios donde la recirculación de viento es baja. Conocieron su peligrosidad al conservar contacto con él debido a que podían mirar como los hombres caían muerto debido a mantener un largo tiempo con el gas. Ya que el exceso de CO₂ en recintos cerrados se muestra físicamente como una nube densa, ellos pensaron que tenía que ver con una presencia extraña y lo llamaron “espíritus letales”. (Belman & Perez, 2013)

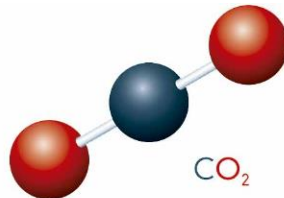


Figura 15. Molécula de CO₂ representada por Lewis. (Suria, n.d.)

En la siguiente Tabla I se pueden observar los estados de calidad del aire, con respecto a la alta o baja concentración contaminante del Dióxido de Carbono (CO₂).

Tabla I

Tabla de niveles permitidos de CO₂ en el aire.(Soler, 2018)

Niveles permitidos de CO₂	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 400
Regular	401 a 600
Malo	601 a 800
Muy Malo	801 a 1000

2.16. Dióxido de nitrógeno “NO₂”

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas causante del daño en la atmosfera donde sus principales causantes primordiales son la congestión vehicular en las ciudades, gases producidos por las industrias de manufactura y de calefones de carbón (en mal estado). Al producirse los embotellamientos vehiculares como se observa en la figura 16, los niveles altos de NO₂ tienen la posibilidad de ir compuestos de niveles elevados de partículas en el aire, así como de otros gases tóxicos que dañan al medioambiente. (Carrillo, 2012)

Las primordiales fuentes antropogénicas de emisión del dióxido de nitrógeno se hallan relacionadas a los cambios de estado por las temperaturas elevadas en los procesos de combustión, temperaturas aproximadas a los 1,100 °C, tales como: termoeléctricas, refinerías de petróleo, motores de combustión interna, etcétera.

Una sección del dióxido de nitrógeno NO₂, que está en el aire del ecosistema, es conformado desde el óxido de nitrógeno NO, derivado de procesos de combustión interna en los motores de los vehículos en altas temperaturas.(Asmara, 2016)

Uno de los principales contaminantes de dicho gas son los automóviles, estos causan la producción de óxido de nitrógeno y al momento de subir a la atmosfera se une el segundo átomo de oxígeno.



Figura 16. Dióxido de carbono producido por vehículos.(Chuet-Misse, 2017)

En la siguiente Tabla II se pueden observar los estados de calidad del aire, con respecto a la alta o baja concentración contaminante del dióxido de nitrógeno (NO₂).

Tabla II

Tabla de Niveles permitidos de NO₂ en el aire. (Donostiako, 2010)

Niveles permitidos de NO₂	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 100
Regular	101 a 200
Malo	201 a 400
Muy Malo	401 a 1000

2.17. Monóxido de carbono “CO”

El gas CO como se muestra en la figura 17 es un gas que no tiene color, ni olor y no es dañino para el sistema respiratorio, que penetra sin dificultad los pulmones y que en funcionalidad de su concentración en el viento y del tiempo que se expone, puede darse una inmediata combinación de efectos dañinos para la salud, llegando a provocar el desfallecimiento en poco tiempo o producir daños neurológicos permanentes.

Además, este se encuentra conformado parte de las partículas de humo de los incendios junto a otros gases tóxicos, causando una posible muerte en las personas por dichos fenómenos ambientales. (Oliu et al., 2010)

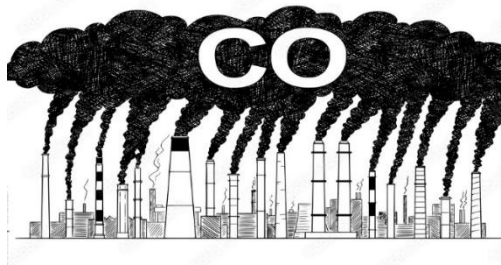


Figura 17. Monóxido de carbono.(Adobe, 2022)

En la Tabla III se pueden observar los estados de la calidad del aire, con respecto a la alta o baja concentración contaminante del monóxido de carbono (CO).

Tabla III

Niveles permitidos de CO en el aire. (AprendEmergencias, 2021)

Niveles permitidos de CO	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 400
Regular	401 a 500
Malo	501 a 1000
Muy Malo	1001 a 2000

2.18. Amoniaco “NH₃”

El NH₃ es un gas que no tiene color, siendo un contaminante irritante que se crea mediante la descomposición de la materia orgánica en plantas y animales. El hombre reacciona a este compuesto una vez que llega a un nivel contaminante de veinticinco ppm o más, mientras tanto los niveles máximos de contaminación que pueden tolerar son de cien ppm a lo largo de ocho horas, no obstante, las aves tienen la posibilidad de exponer diferentes inconvenientes una vez que resultan expuestas. Gracias a la falta de ventilación puede llegar a generar niveles altos de contaminación de NH₃, lo cual constituye una problemática para los avicultores a lo largo del invierno una vez que se disminuye la ventilación para eludir una pérdida desmesurada de calor. (PEREIRA-PEÑATE, 2016)

En la siguiente Tabla IV se pueden observar los estados de calidad del aire, con respecto a la alta o baja concentración contaminante del amoniaco (NH₃).

Tabla IV

Tabla de Niveles permitidos de NH₃ en el aire. (Ortega, 2016)

Niveles permitidos de NH ₃	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 250
Regular	251 a 400
Malo	401 a 700
Muy Malo	701 a 1000

2.19. Ozono “O₃”

El ozono O₃ es una molécula mostrada en la figura 18, formada por tres átomos de oxígeno y está presente en 2 entornos atmosféricos diversos. Por un lado, forma la capa estratosférica planetaria que se ha limitado de forma notable más que nada en la Antártida situación llamada habitualmente hoyo de O₃. Sin embargo, es un contaminante en las localidades está concentrado en los niveles bajos de la atmósfera

y por esa razón se lo llama O₃ troposférico, este además pertenece a un fenómeno que perjudica a la salud, indicando que el O₃ estratosférico bloquea la radiación ultravioleta y O₃ troposférico irrita las mucosas y la dermis. (Antúnez, 2008)

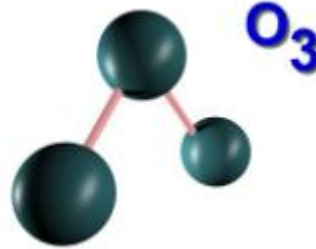


Figura 18. Molécula de ozono. (Mora, n.d.)

En la Tabla V se pueden observar los estados de la calidad del aire, con respecto a la alta o baja concentración contaminante del ozono (O₃).

Tabla V

Tabla de Niveles permitidos de O₃ en el aire. (Aznar, 2020)

Niveles permitidos de O₃	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 130
Regular	131 a 240
Malo	241 a 380
Muy Malo	381 a 1000

2.20. Micropartículas “PM10” y “PM2.5”

La interacción entre la polución del viento y las patologías pulmonares fueron populares a partir de la antigüedad, especialmente durante el siglo veinte. Los efectos en la salud gracias a la contaminación del viento cobran trascendencia e inquietud por el aumento de material particulado PM10 y PM2.5.

El lado negativo de la contaminación del viento es que hasta el momento no es de mucha importancia, debido a que los doctores no muestran gran interés en la contaminación del viento y la salud poblacional dada en su mayoría en las enfermedades respiratorias.

En la actualidad, el uso constante de energías mediante el petróleo y sus compuestos han marcado la existencia de gases como el “NO₂”, “CO₂”, y “CO”; sin embargo, las micropartículas contaminantes se preservan en elevadas cantidades por arriba de lo sugerido por la O.M.S, por este motivo el trabajo investigativo está dirigido a hallar la interacción y enseñar de como afecta a la salud el estado de la calidad del viento por el material particulado. (Betetta, 2019)



Figura 19. Material particulado PM10 y PM2.5. (Córdova, 2017)

En la Tabla VI se pueden observar los estados de calidad del aire, con respecto a la alta o baja concentración contaminante del material particulado PM10.

Tabla VI

Tabla de Niveles permitidos de PM10 en el aire. (Aznar, 2020)

Niveles permitidos de PM10	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 50
Regular	51 a 100
Malo	101 a 150
Muy Malo	151 a 1000

Para finalizar en la Tabla VII se pueden observar los estados de calidad del aire, con respecto a la alta o baja concentración contaminante del material particulado PM2.5.

Tabla VII

Tabla de Niveles permitidos de PM2.5 en el aire. (Aznar, 2020)

Niveles permitidos de PM2.5	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 25
Regular	26 a 50
Malo	51 a 75
Muy Malo	76 a 1000

3. DISEÑO

3.1. Diseño de la pantalla Nextion

Lo primero es crear un nuevo proyecto y elegir el tipo de pantalla se necesita en el proyecto.

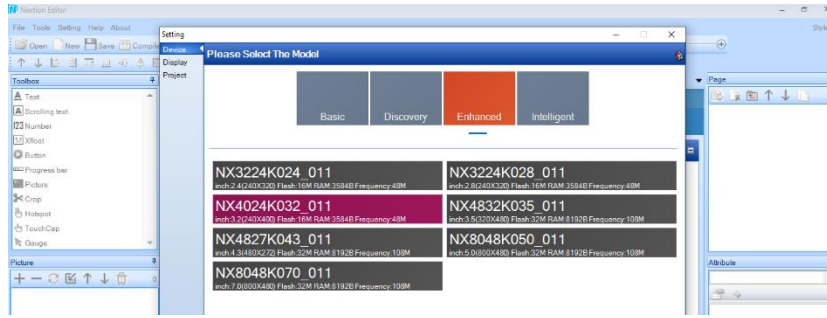


Figura 20. Selección del tipo de pantalla en el Software Nextion Editor.

Lo segundo es importante ya que sin los “Font” no se puede ejecutar el proyecto, por eso es necesario agregar el tipo de letra que necesita el proyecto.

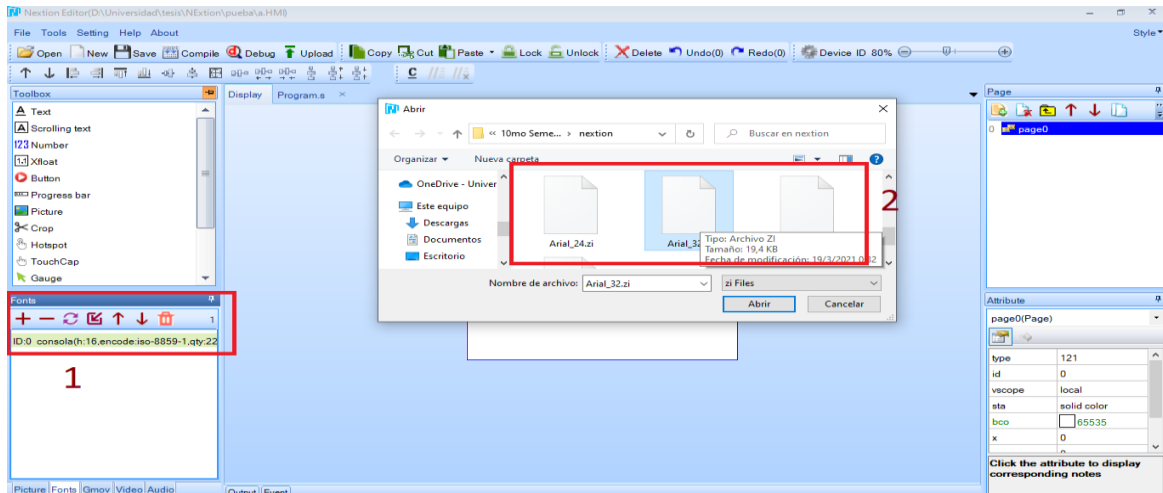


Figura 21. Creación de “Font” para el diseño de la pantalla.

En la figura 22 se observan los siguientes puntos:

- 1. Toolbox:** Se encuentran los elementos que se necesitan en este proyecto, desde un componente de texto, creación de variables “enteras o floats”, imágenes, códigos qr, guage, progress bar, checkbox, variables de tiempo y entre otros.

2. **Page:** En este literal se puede crear todas las páginas que se utilizan en el proyecto.

3. **Attribute:** En esta parte del proyecto se puede identificar la id de cada componente, tipo de variable si es local o global, nombre del componente y ubicación.

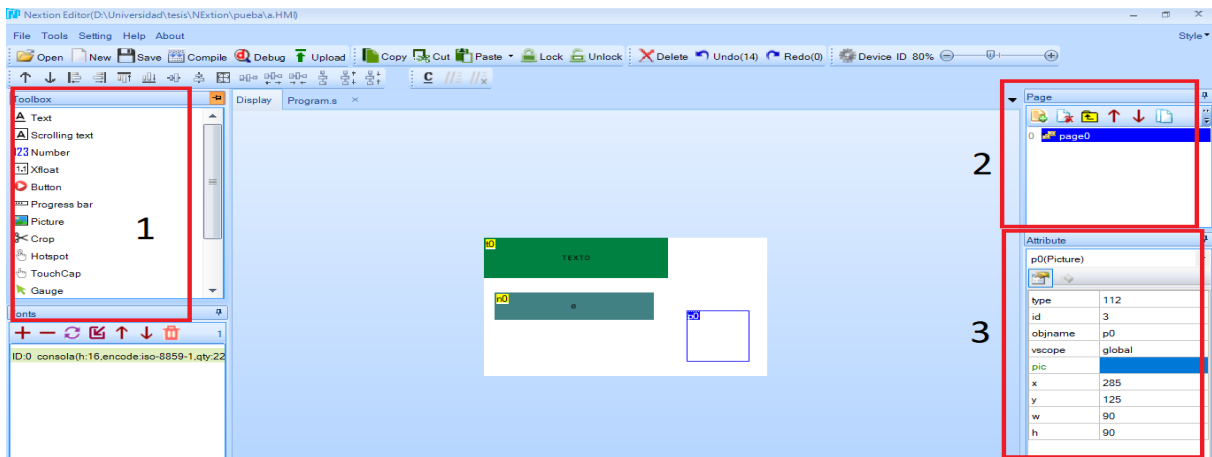


Figura 22. Interfaz de Nextion - proceso de crear página Inicio.

En la figura 23 se observa el display y el evento en la pantalla:

1. **Display:** Es donde se colocan los componentes que se encuentran en el Toolbox.

2. **Event:** Para configurar las acciones de los componentes y para ello se utilizan los atributos, que se observan en la figura anterior. Como se muestra en la imagen que se ha configurado el botón b0 para que al ser accionado se dirija a la página 1.

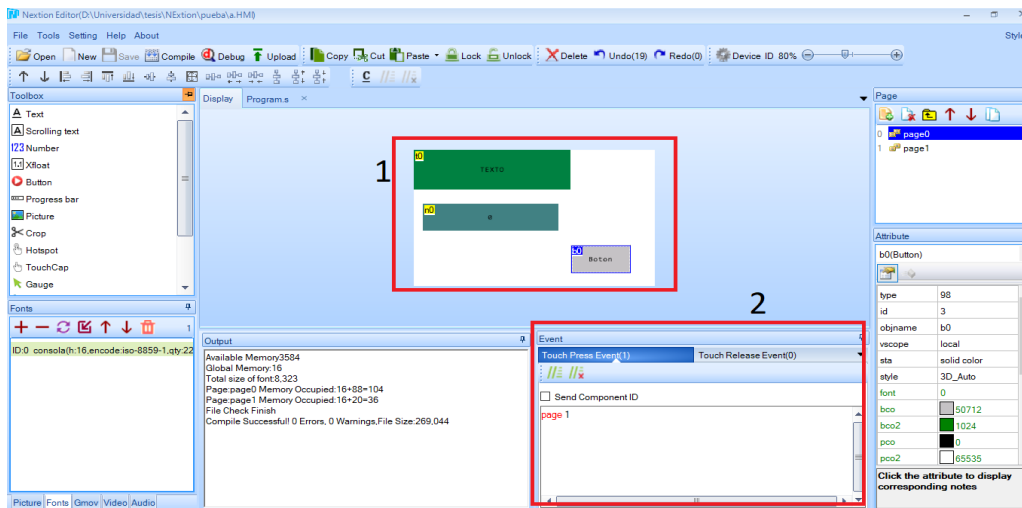


Figura 23. Ubicación de display y evento.

En la figura 24 se puede visualizar del lado derecho la cantidad de páginas que se utilizan en la pantalla Nextion HMI que en total son 13 páginas.



Figura 24. Creación de páginas en la pantalla Nextion.

En la figura 25 se muestra la página llamada Inicio donde se encuentra lo siguiente:

1. Botón Config: La función de este botón es dirección a la página número 10 de configuración, ver figura 35.

2. Botón Iniciar: La función de este botón es direccionar a la página 1 donde se encuentra el menú principal para ir a todas las páginas del proyecto.

3. Fecha_Hora: Indicador de fecha y hora actual del dispositivo.



Figura 25. Contenido de la página “0”, llamada “Inicio” en la pantalla Nextion.

Se detalla una breve descripción acerca del nombre del proyecto técnico, autores, tutor y botones que ejecutan distintas funciones en el prototipo.

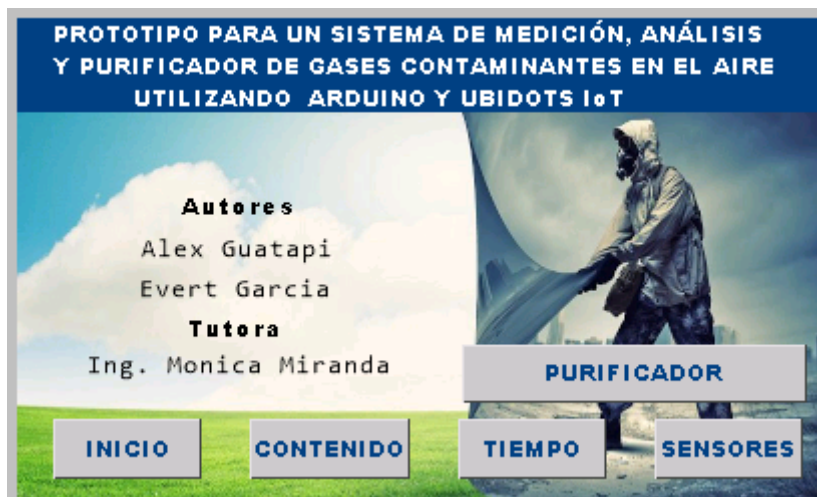


Figura 26. Contenido de la página “1”, llamada “Menú” en la pantalla Nextion.

Se presenta una breve descripción de la función del prototipo, los tipos de gases que se analizan y que se encuentra en la página 2 de la pantalla Nextion, también tiene incluido un botón hacia adelante para avanzar a la siguiente página que es parte del resumen y otro botón con un indicador direccional izquierdo para retroceder a la página anterior.

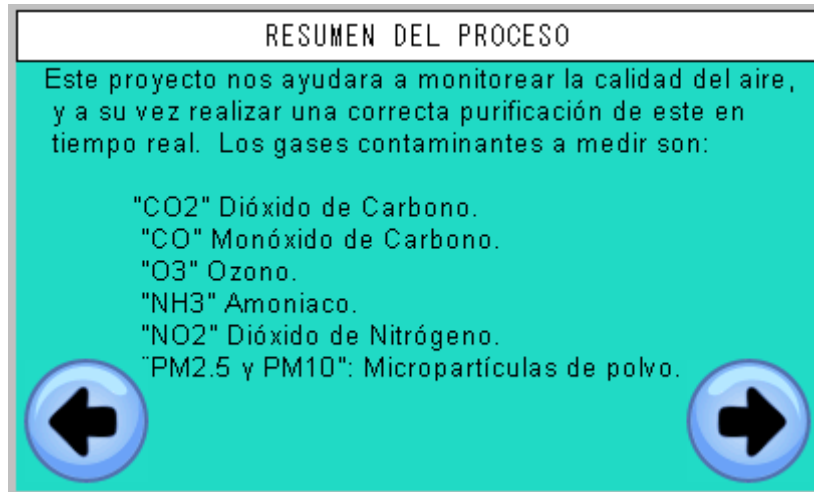


Figura 27. Contenido de la página “2”, llamada “Contenido” en la pantalla Nextion.

Se presenta un resumen de la comunicación de data de los sensores y las etapas por las que se encuentra dividido el proyecto, también se encuentra un botón con un mensaje “PRESIONE AQUÍ” que se dirige a la página 4.

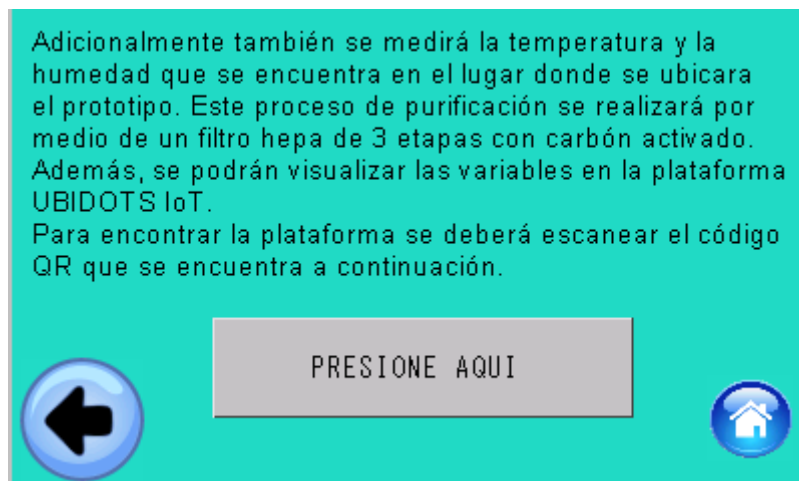


Figura 28. Contenido de la página “3”, llamada “Contenido2” en la pantalla Nextion.

La página Temp-humedad presenta los datos del sensor DHT11, el cual es encargado de medir la temperatura en el ambiente y la humedad de este en el que se encuentra. Una vez se presiona el botón de sincronizar el microcontrolador Arduino comenzará a emitir la data de temperatura y humedad. Esta página también cuenta con un botón de diseño “home” para regresar a la página 2 “Menú”.

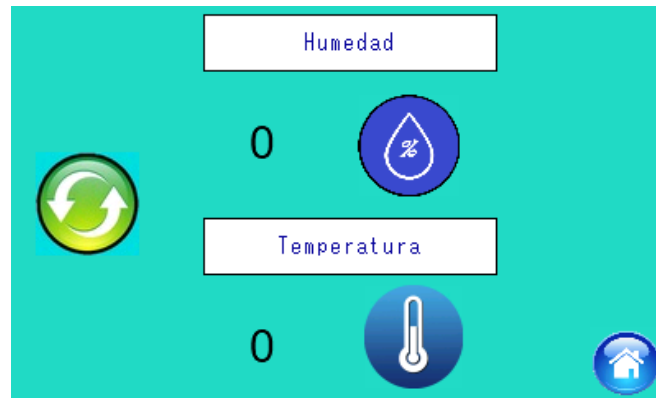


Figura 29. Contenido de la página “4”, llamada “Temp-humid” en la pantalla Nextion.

Se presenta el contenido de la página llamada Sensores_1, esta cuenta con tres botones, un botón de sincronización de datos de color verde, un botón con una flecha derecha que sirve para ir a la siguiente página de los Sensores_2 y con un botón con diseño de “home” que es para regresar al menú principal de la página 1. Esta página también cuenta con un indicador numérico y un gauge para visualizar la variable del Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

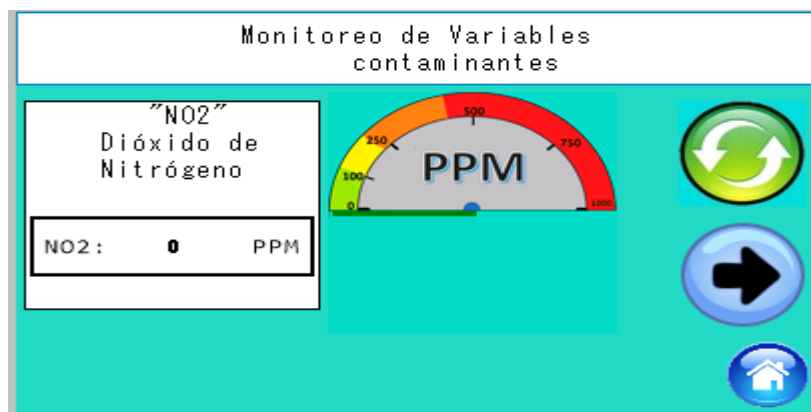


Figura 30. Contenido de la página “5”, llamada “Sensores_1” en la pantalla Nextion.

Se puede observar el contenido de la página llamada Sensores_2, esta página cuenta con dos botones direccionales que sirven para regresar a la página de la figura 30 y otro para avanzar a la siguiente página mostrada en la figura 32, también cuenta con dos gauges y dos indicadores numéricos para visualizar las variables del Dióxido de Carbono (CO₂) y el Monóxido de Carbono (CO).

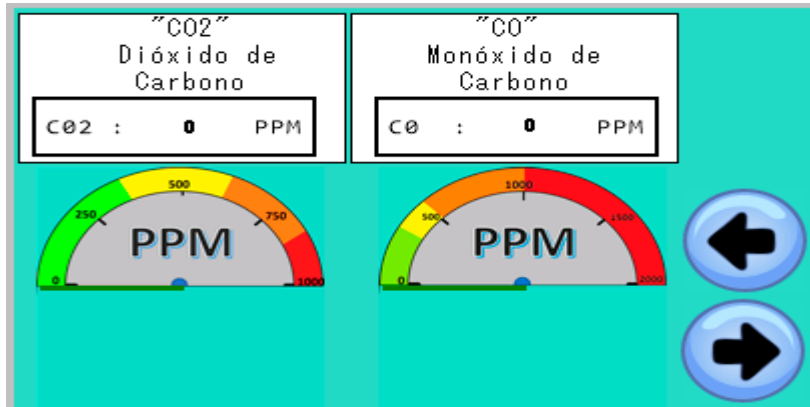


Figura 31. Contenido de la página “6”, llamada “Sensores_2” en la pantalla Nextion.

En la figura 32 mostrada a continuación se observa la página llamada Sensores_3, esta página cuenta con dos indicadores numéricos y dos gauges para visualizar las variables de Amoniaco (NH₃) y Ozono (O₃), además cuenta con dos botones para regresar a la página Sensores_2 y avanzar a la página Sensores_4.

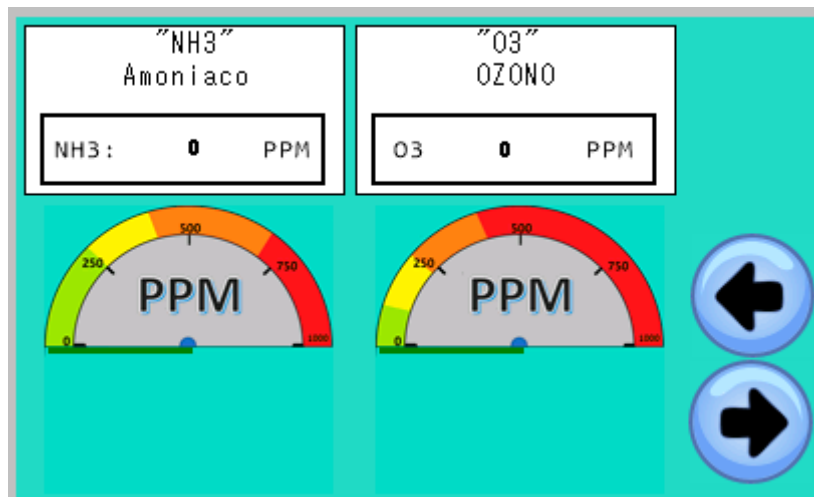


Figura 32. Contenido de la página “7”, llamada “Sensores_3” en la pantalla Nextion.

Se observa la página llamada “Sensores_4”, esta página cuenta con dos indicadores numéricos y dos gauges para poder visualizar las variables PM10 y PM2.5, además cuenta con un botón de “back” para regresar a la página anterior Sensores_3.

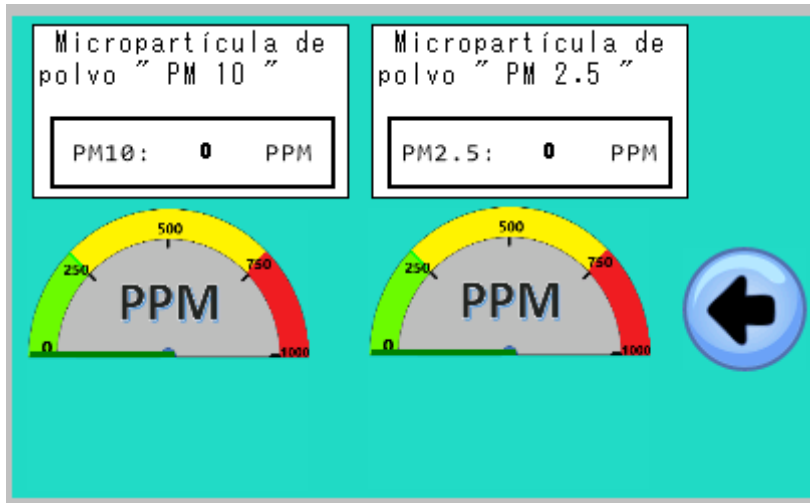


Figura 33. Contenido de la página “8”, llamada “Sensores_4” en la pantalla Nextion.

Se observa la página llamada “Dormir”, esta página indica cuando la Nextion entra a modo suspensión o ahorro de energía, donde esta tendrá un consumo de energía más bajo de 120mA, este modo de suspensión se ejecuta cuando no se interactúa con la pantalla durante tres minutos.



Figura 34. Contenido de la página “9”, llamada “Dormir” en la pantalla Nextion.

Se presenta la página llamada Config, en esta página se puede configurar la hora y fecha de la pantalla Nextion, además del nivel de brillo de esta. También cuenta con un botón para retornar a la página del menú principal.

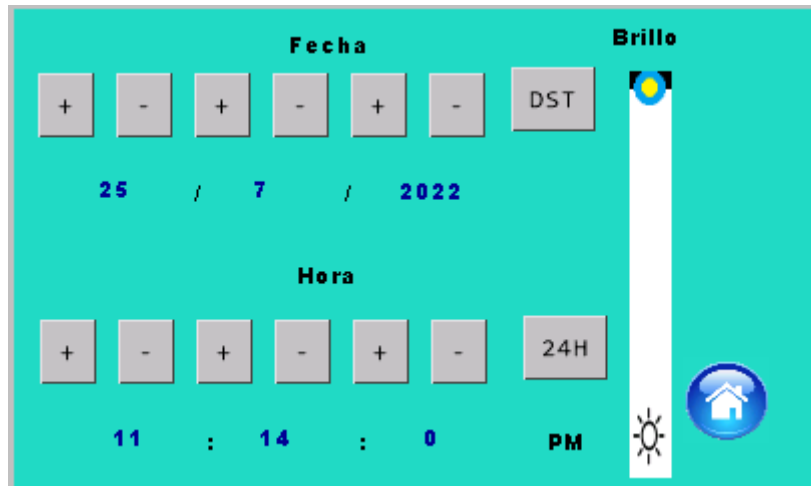


Figura 35. Contenido de la página “10”, llamada “Config” en la pantalla Nextion.

Se puede observar la página llamada QR, en esta página se encuentran dos códigos QR para redirigirse a la plataforma Ubidots y poder visualizar todas las variables. También se encuentra un botón de “salir” para volver a la parte del contenido inicial.



Figura 36. Contenido de la página “11”, llamada “QR” en la pantalla Nextion.

Se puede observar la página llamada Purificador, esta página muestra la animación del control automático y manual de la turbina, esta cuenta con iconos de animación para visualizar el estado de funcionamiento, además se encuentra un botón de “home” para regresar a la página del menú principal.



Figura 37. Contenido de la página “12”, llamada “Purificador” en la pantalla Nextion.

3.2. Diseño de interfaz para el sistema de monitoreo de Gases en la Plataforma Ubidots

Ingresar a la plataforma con la dirección: WWW.UBIDOTS.COM.

Crear una cuenta de trabajo en la plataforma Ubidots, agregar un usuario, una dirección de correo personal y un password.



Figura 38. Registro de cuenta en Ubidots.

Dentro de página web Ubidots tiene una interfaz que consta de dos secciones de trabajo, una de ellas llamada devices y la otra llamada data.

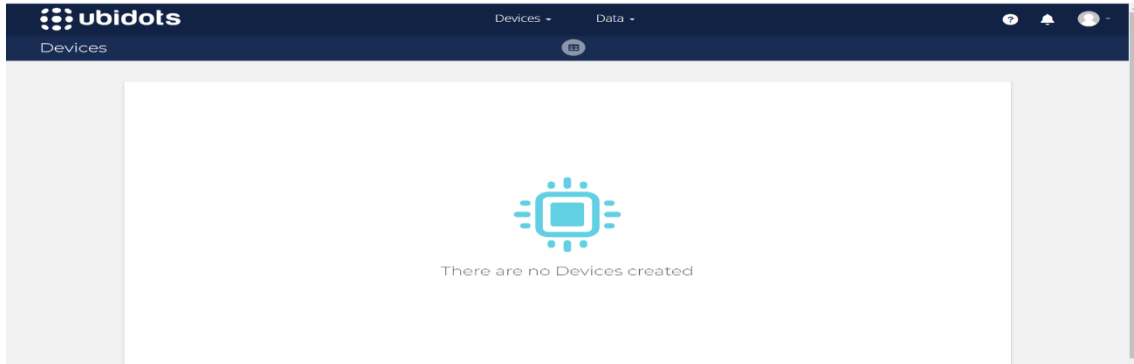


Figura 39. Interfaz de trabajo en Ubidots.

En la sección de Devices mostrado en la figura 40 se tiene la opción de agregar un nuevo dispositivo para empezar a trabajar, se puede agregar todo tipo de dispositivos que especifique las siguientes características que implican la conectividad, tipo de Hardware y tipo de Integración. En la plataforma Ubidots se trabaja con distintas tarjetas microcontroladoras sean de alta o baja gama tales como: Arduino, Raspberry Pi, Microchip, Siemens, etc.

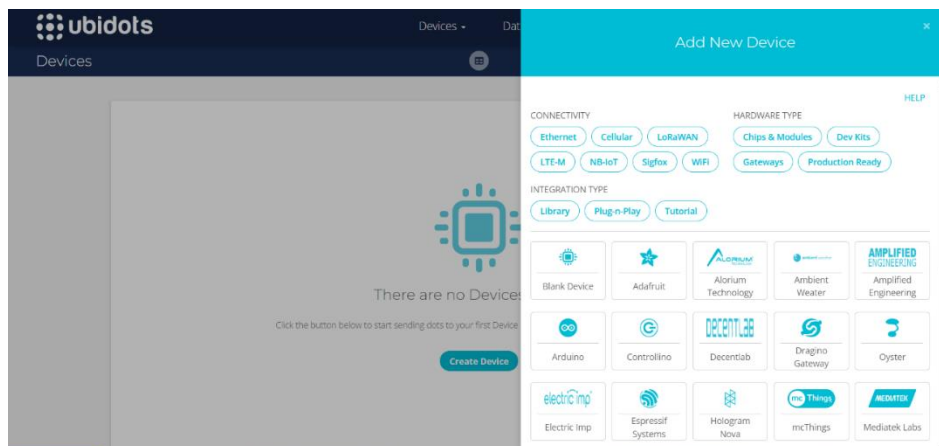


Figura 40. Panel de selección de dispositivos.

Seleccionar un dispositivo con el que se desea trabajar y agregar un nombre al mismo.

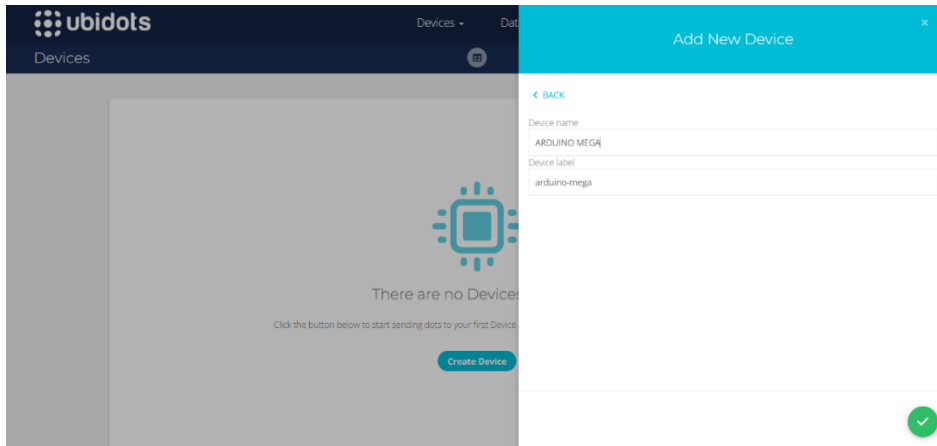


Figura 41. Selección del dispositivo.

Una vez asigna un nuevo dispositivo se visualiza en la sección de Devices.

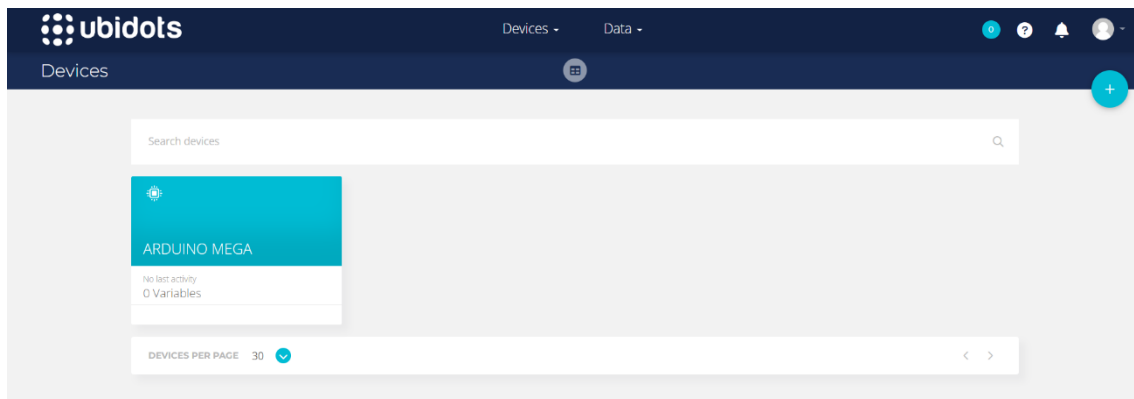


Figura 42. Dispositivo agregado en la plataforma Ubidots.

Dentro del dispositivo creado se puede visualizar en la figura 43 la siguiente interfaz y se puede agregar la cantidad de variables que se necesite para el monitoreo en tiempo real en la plataforma.

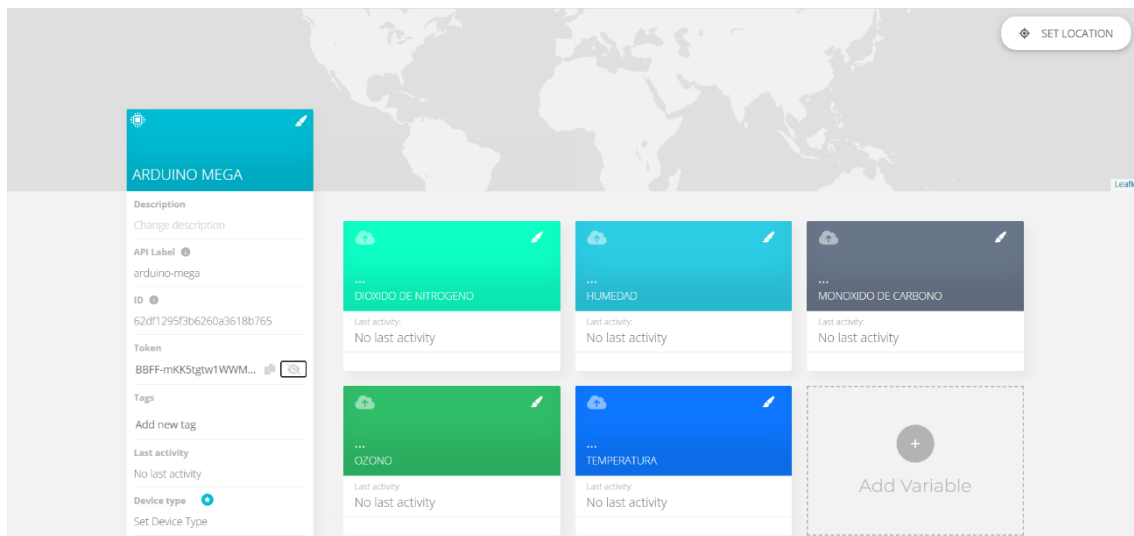


Figura 43. Variables creadas en la plataforma Ubidots.

Dentro de cada variable que se agregue se puede visualizar la siguiente interfaz donde se puede mostrar la data de dicha variable que se va a monitorear y actualizar en tiempo real con su respectiva gráfica.

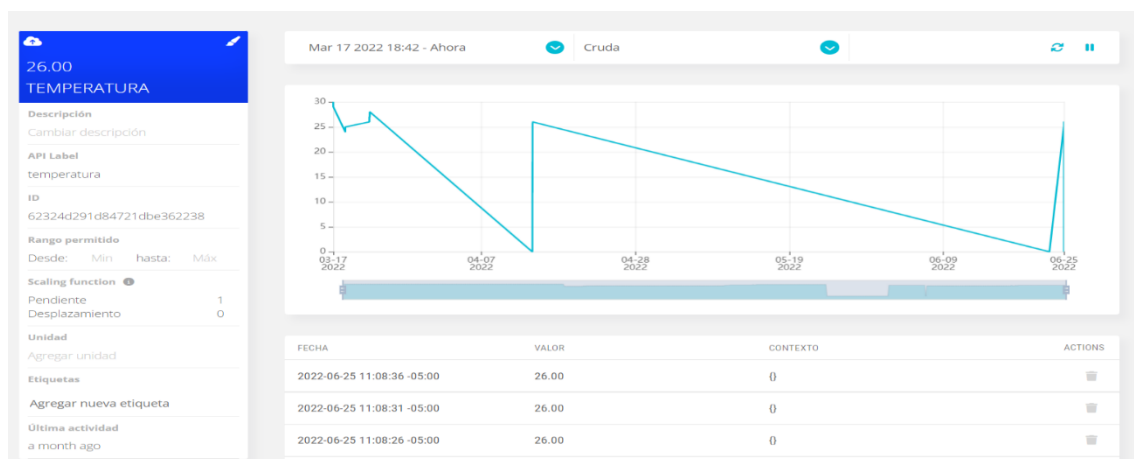


Figura 44. Visualización de datos de la variable temperatura.

Se presenta la sección Data, esta sección tiene dos opciones de trabajo, una llamada Dashboard y otra llamada Events. Estas opciones de trabajo permiten crear tableros para monitorear de manera general las variables creadas y también se puede crear eventos, por ejemplo, alertas de emergencia para las variables.

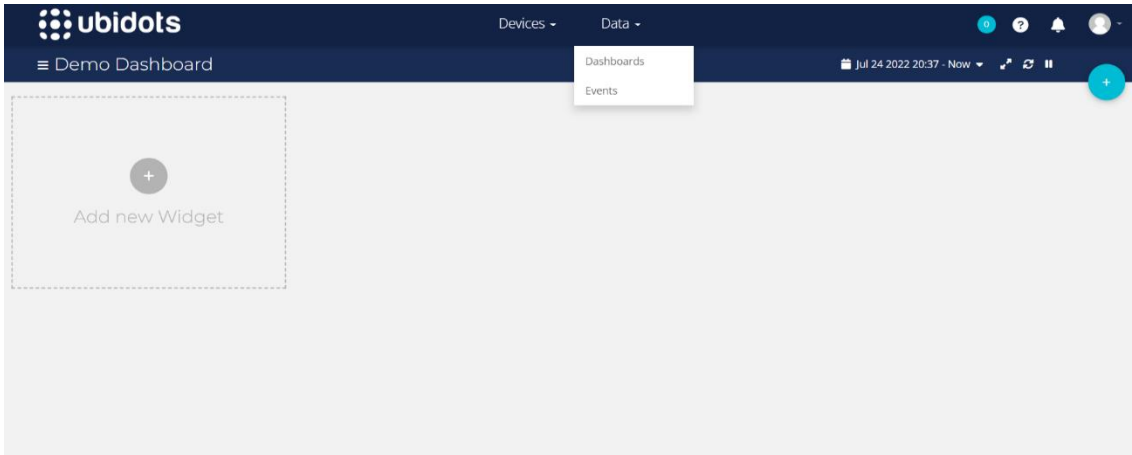


Figura 45. Interfaz de eventos para el Dashboard.

En la sección de Dashboard se permite agregar varios tipos de widget como: indicadores, gauges, gráficas, imágenes, texto, etc.

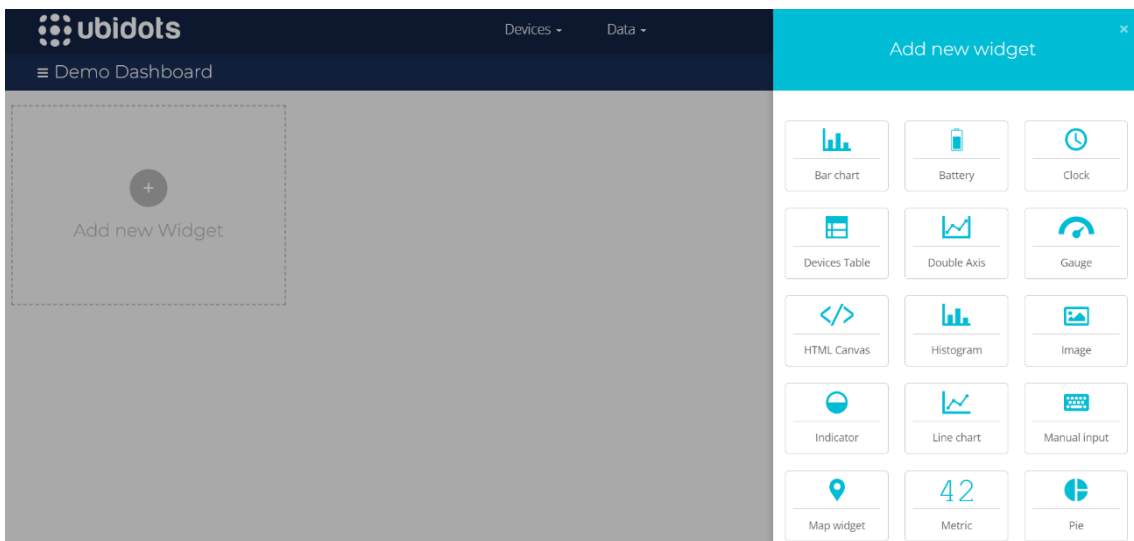


Figura 46. Panel de widgets en Ubidots.

Se presenta las variables que se utilizan en la interfaz del Proyecto Técnico en la plataforma Ubidots, sección dispositivos.

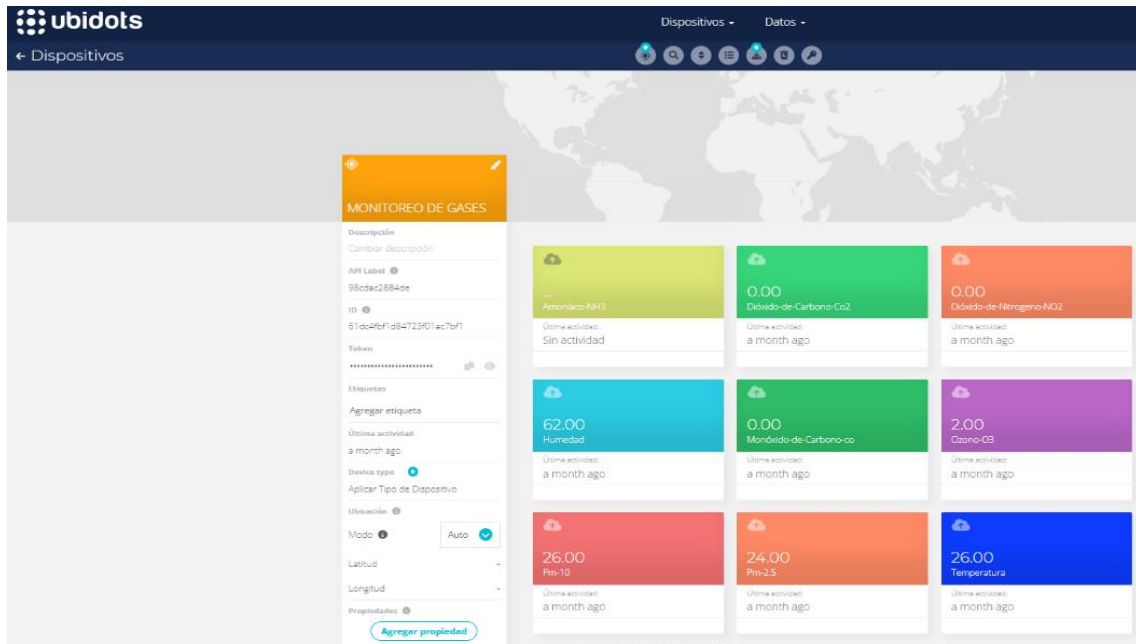


Figura 47. Visualización de las variables creadas en la sección dispositivos.

Se presenta el diseño del tablero de datos con indicadores , el cual contiene las variables de los gases detectados por los sensores, además se visualiza como los indicadores tipo gauge tienen diferente rango de medición en ppm según como este normalizado y calibrado cada sensor.



Figura 48. Visualización de variables en el tablero Monitoreo de Variables.

Se presenta las variables en tipo gráficos, estos indicadores gráficos permiten visualizar las gráficas que se van formando mediante la lectura de datos de los gases que detecten los sensores.



Figura 49. Visualización de gráficas en Ubidots.

A continuación se presenta la interfaz para el análisis de data, en esta interfaz se puede visualizar los porcentajes de los datos recopilados, mediante las mediciones de los sensores al detectar los diferentes tipos de gases contaminantes.



Figura 50. Interfaz para el análisis de datos.

3.3. Diseño AutoCAD del prototipo

El prototipo se diseña mediante el software AutoCAD 3D. El diseño esta dividido en tres partes: parte superior, parte media y parte inferior. Ver anexo B.

Parte Superior

El diseño de la parte superior, en esta parte se encuentran acoplados los componentes electrónicos como la tarjeta de control Arduino, sensores, módulos de comunicación, fuente de alimentación y la pantalla HMI Nextion.

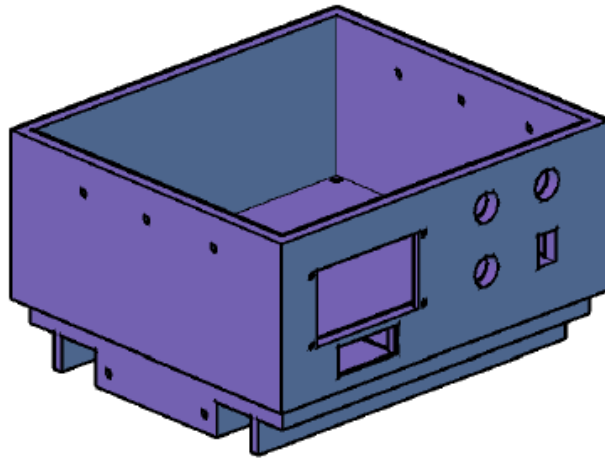


Figura 51. Diseño de la parte superior del prototipo en AutoCAD 3D.

Parte Media

El diseño de la parte media, en esta parte se encuentran acoplados los cuatro filtros de tres etapas, bases para los filtros y el ventilador AC.

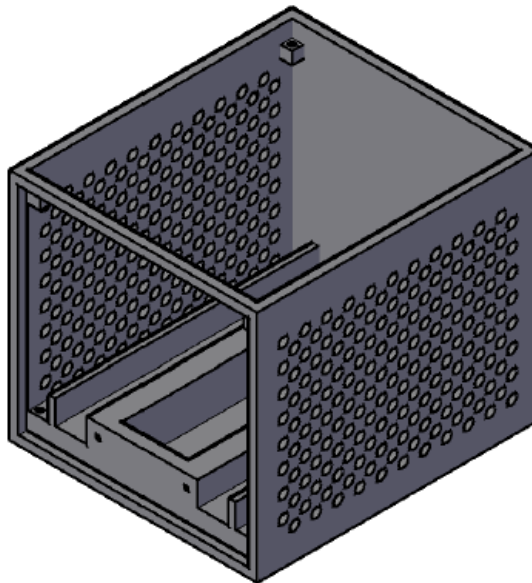


Figura 52. Diseño de la parte media del prototipo en AutoCAD 3D.

Parte Inferior

El diseño de la parte inferior, en esta parte se encuentra la conexión principal de 110 VAC que alimenta a todo el sistema, además de un switch de dos posiciones.

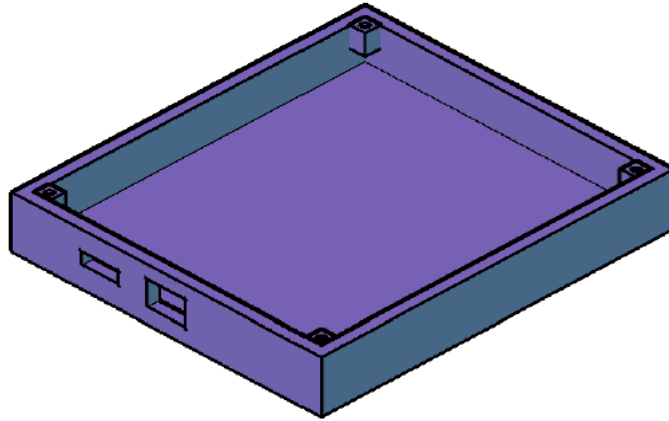


Figura 53. Diseño de la parte inferior del prototipo en AutoCAD 3D.

4. IMPLEMENTACIÓN

4.1. Cálculo y Dimensionamiento para el extractor de aire

En un ambiente cerrado es importante contar con un extractor para expulsar el aire. Este es un equipo eléctrico conformado por un motor y unas aspas de ventilación.

Para poder dimensionar un extractor de aire en primer lugar se debe calcular el caudal o flujo de aire que corre dentro de un ambiente cerrado como pueden ser: oficinas, aulas, habitaciones pequeñas, salas hospitalarias, etc.

Se calcula el volumen del ambiente cerrado en el cual se quiere realizar una ventilación del aire. Para calcular el volumen del aire en dicho ambiente de la Ec (1) se debe multiplicar sus dimensiones como el ancho (A), el alto (B) y el largo (C) tal y como se muestra en la figura 54.

$$V = (A * B * C)m^3 \quad \text{Ec(1)}$$

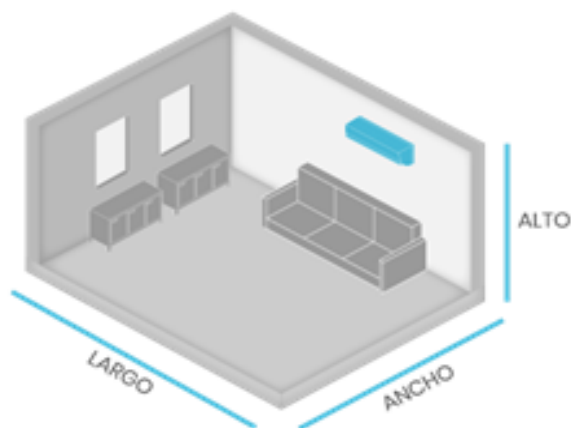


Figura 54. Dimensiones de un ambiente cerrado.

Una vez obtenido el cálculo del volumen de dicho ambiente, se debe tener en cuenta que el extractor de aire debe tener un nivel de extracción de caudal o flujo de aire entre 7 y 10 veces superior al volumen de aire de la instancia.

En el momento que se elige un ventilador, se debe tener en cuenta otro factor importante que son las renovaciones de aire por ciertos tiempos según cual sea la actividad que se realice en un ambiente. Para ventilar un ambiente se debe medir el lugar y realizar los cálculos respectivos para elegir un buen equipo.

Renovaciones de aire por Hora “DIN 1946”

Se cuenta con ciertos aspectos que dañan la contribución del aire, se puede concluir la cantidad de veces que el aire debe permanecer en un lugar cerrado donde se lo asigna como Renovaciones/Hora.

Esta norma presenta un valor aproximado donde el número indica la cantidad de veces que sean necesarias renovar el aire por horas en espacios tipo como se las presenta en la Tabla XIII del Anexo A.

Ejemplos de Cálculo de Renovación de aire en Locales

Dimensiones de una habitación doméstica.

Datos:

Largo = 10m

Ancho = 4m

Alto = 3m

La tabla indica que en este tipo de dimensiones se recomienda renovar el aire entre cinco y siete veces por hora, como una media de seis renovaciones/hora.

Calcular el volumen del aire dentro de la instancia:

$$V = A * B * C \quad \mathbf{Ec(1)}$$

$$V = 10\text{m} * 4\text{m} * 3\text{m}$$

$$V = 120\text{m}^3$$

Calcular el Caudal o Flujo de aire:

$$Q = V * \frac{R}{H} \quad \mathbf{Ec(2)}$$

$$Q = 120\text{m}^3 * 6 \frac{R}{H}$$

$$Q = 720 \frac{\text{m}^3}{\text{H}}$$

$$Q = 423 \text{ CF}$$

Se obtiene el cálculo del volumen de la estancia, siendo de 120m^3 y al multiplicarlas por las 6 renovaciones/hora se da el caudal necesario de $720 \frac{\text{m}^3}{\text{H}}$ ó 423 CFM, al obtener este valor se necesita que el ventilador aporte el mismo caudal o superior a el mismo.

4.2. Configuración del Sensor MQ-135 para la detección de Dióxido de Carbono (CO2)

En la curva característica de sensibilidad de la figura 137 del anexo D, se carga la imagen en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo gráfica 2D (X-Y).

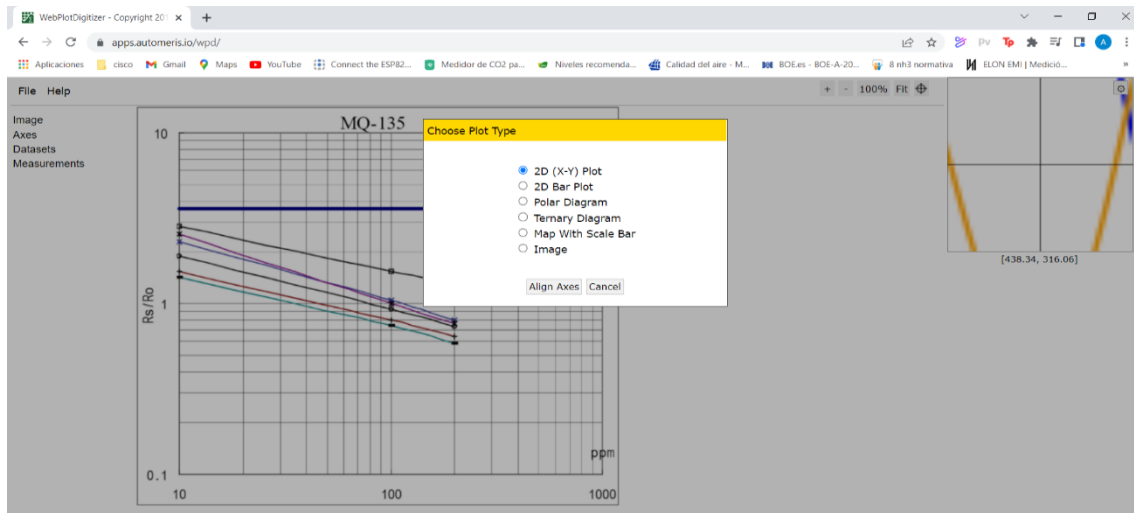


Figura 55. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ 135 en el software WPD.

Se elige el tipo de gráfica “figura 2D” y se coloca las escalas de los ejes X y Y respectivamente, además se selecciona la escala logarítmica y se asume que los ejes se alinean con las coordenadas de la imagen.

X and Y Axes Calibration

Enter X-values of the two points clicked on X-axis and Y-values of the two points clicked on Y-axes

	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	0.1	10	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	10	1000	<input checked="" type="checkbox"/>

Assume axes are perfectly aligned with image coordinates (skip rotation correction)

*For dates, use yyyy/mm/dd hh:ii:ss format, where ii denotes minutes (e.g. 2013/10/23 or 2013/10 or 2013/10/23 10:15 or just 10:15). For exponents, enter values as 1e-3 for 10⁻³.

OK

Figura 56. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Dióxido de Carbono.

Seleccionar los puntos sobre la curva característica para el gas CO2 que va a detectar el sensor MQ-135.

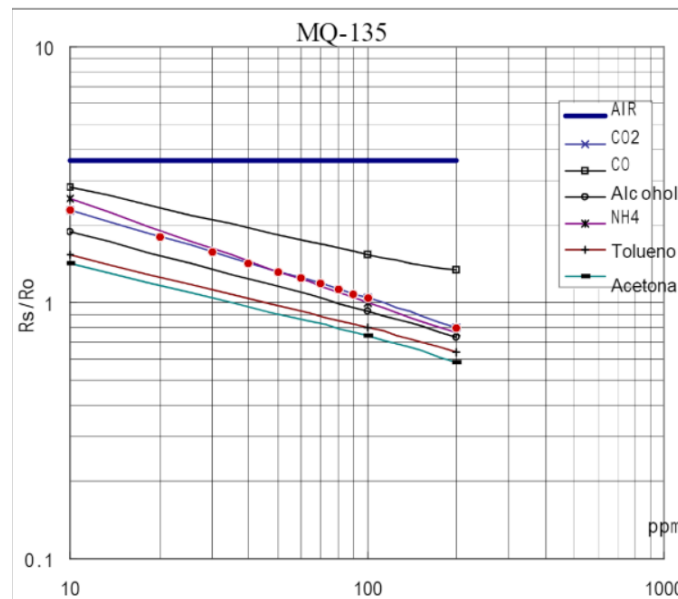


Figura 57. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para CO2.

Los puntos colocados sobre la línea de tendencia de color azul permiten obtener los datos necesarios del gas CO2 para cargarlos en el software Microsoft Excel y así obtener la ecuación característica. Los datos obtenidos son descargados como archivo CSV.

Acquired Data

Dataset: Default Dataset ▾

Variables: X, Y

```

2,304715777475227; 10,04549171798206
1,8105826801594915; 20,166072044278287
1,581983554193074; 30,227549882486436
1,4282216194591966; 39,91694403432274
1,321437928818359; 50,3547746357027
1,2530126631414538; 60,043700939156636
1,1929998979505363; 69,85451766316741
1,131225271091761; 80,41479062456249
1,0814595981573998; 90,00136274839977
1,0466470741596212; 101,08594398213924
0,7990380655360135; 200,0906254689592
    
```

Copy to Clipboard | Download .CSV | Graph in Plotly* | Close

*Plotly is a secure data analysis and graphing site with data sharing and access controls. Visit <http://plot.ly> for details.

Sort

Sort by: Raw ▾

Order: Ascending ▾

Format

Number Formatting:

Digits: Ignore ▾

Column Separator:

Figura 58. Visualización de datos en el software WPD.

En la ecuación característica para el gas CO2 que se obtiene con la curva de sensibilidad y los valores cargados en el archivo Excel, después se define con el gráfico tipo dispersión que se utiliza en la relación de las dos variables de PPM y Rs/Ro.

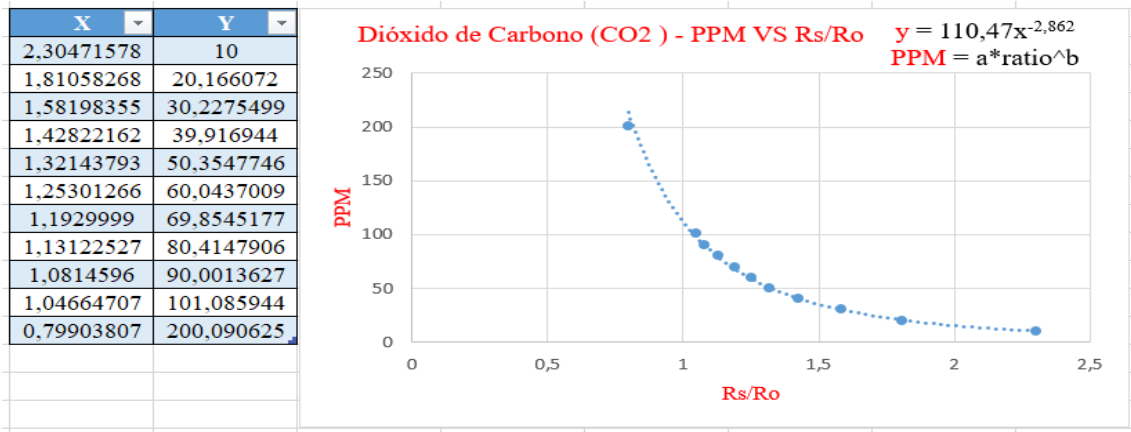


Figura 59. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de CO2 en Excel.

4.3. Configuración del Sensor MQ-135 para la detección de Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

A partir de la curva de característica de sensibilidad de la figura 137 del Anexo D, se carga la imagen en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo gráfica 2D (X-Y).

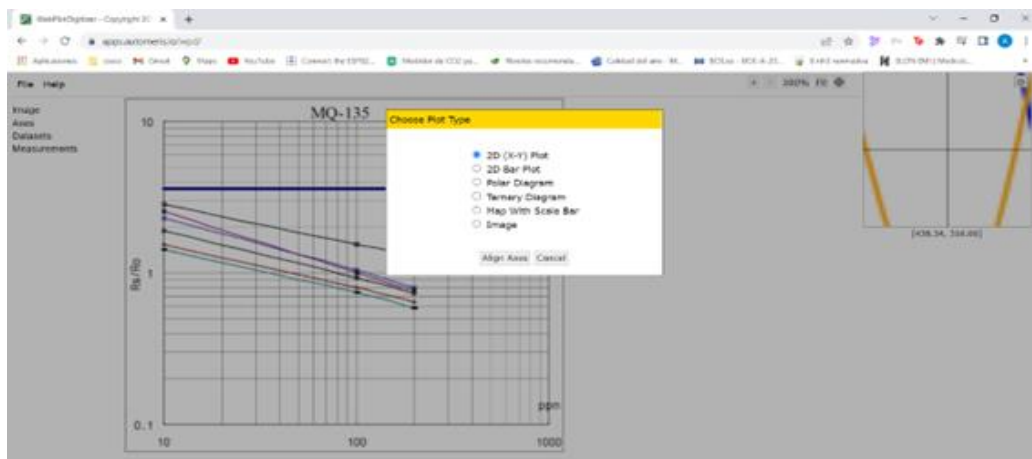


Figura 60. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ-135 en el software WPD.

Se elige el tipo de gráfica “figura 2D” y se coloca las escalas de los ejes X y Y respectivamente, además se selecciona la escala logarítmica y se asume que los ejes se alinean con las coordenadas de la imagen.

X and Y Axes Calibration

Enter X-values of the two points clicked on X-axis and Y-values of the two points clicked on Y-axes

Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis: 0.1	10	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis: 10	1000	<input checked="" type="checkbox"/>

Assume axes are perfectly aligned with image coordinates (skip rotation correction)

*For dates, use yyyy/mm/dd hh:ii:ss format, where ii denotes minutes (e.g. 2013/10/23 or 2013/10 or 2013/10/23 10:15 or just 10:15). For exponents, enter values as 1e-3 for 10⁻³.

Figura 61. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Dióxido de Nitrógeno.

Seleccionar los puntos sobre la curva característica para el gas NO₂ que va a detectar el sensor MQ-135.

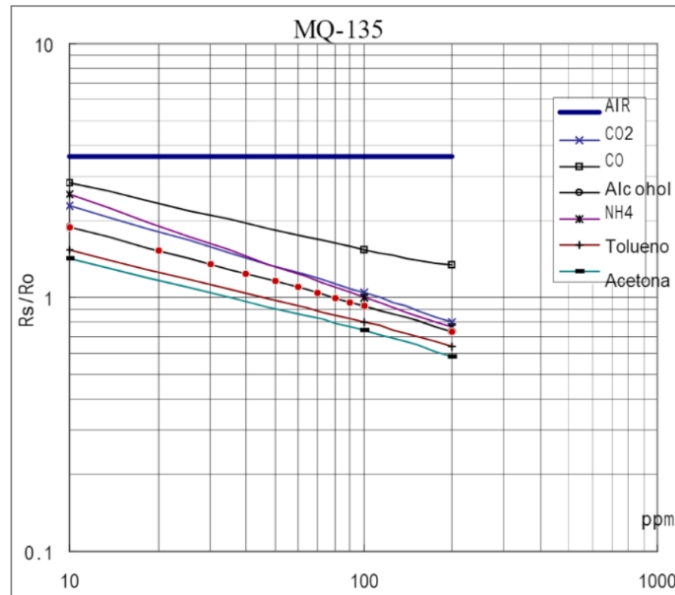


Figura 62. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para NO₂.

Los puntos colocados sobre la línea de tendencia de color negro permiten obtener los datos necesarios del gas NO₂ para cargarlos en el software Microsoft Excel y así obtener la ecuación característica. Los datos obtenidos son descargados como archivo CSV.

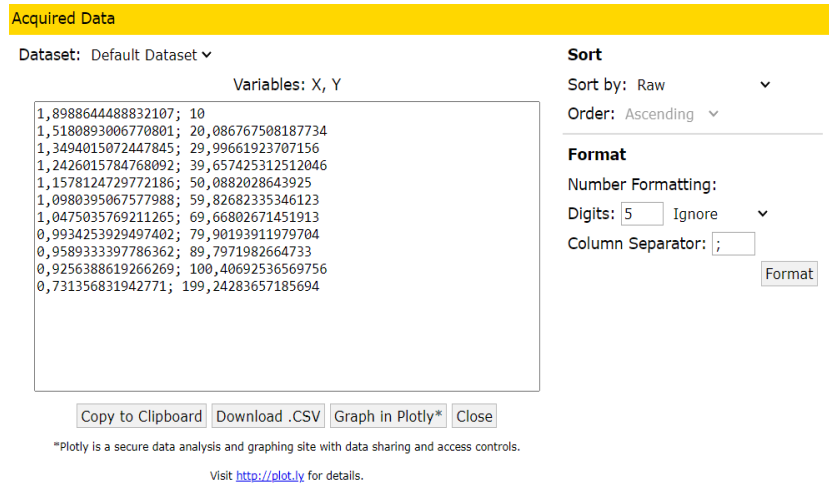


Figura 63. Visualización de datos en el software WPD.

En la ecuación característica para el gas NO₂ que se obtiene con la curva de sensibilidad y los valores cargados en el archivo Excel, después se define con el gráfico tipo dispersión que se utiliza en la relación de las dos variables de PPM y Rs/Ro.

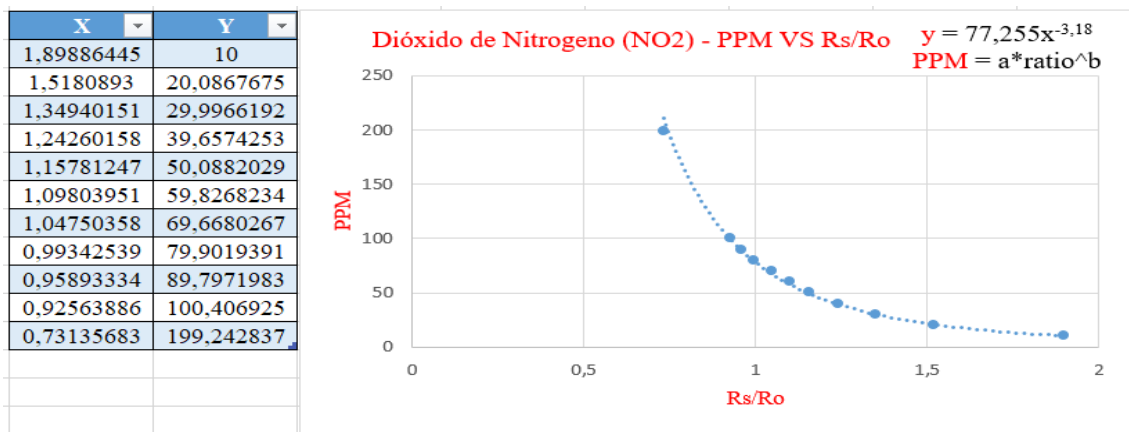


Figura 64. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de NO₂ en Excel.

4.4. Configuración del Sensor MQ-135 para la detección de Amoniaco (NH3)

A partir de la curva característica de sensibilidad de la figura 137 del Anexo D, se carga la imagen en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo gráfica 2D (X-Y).

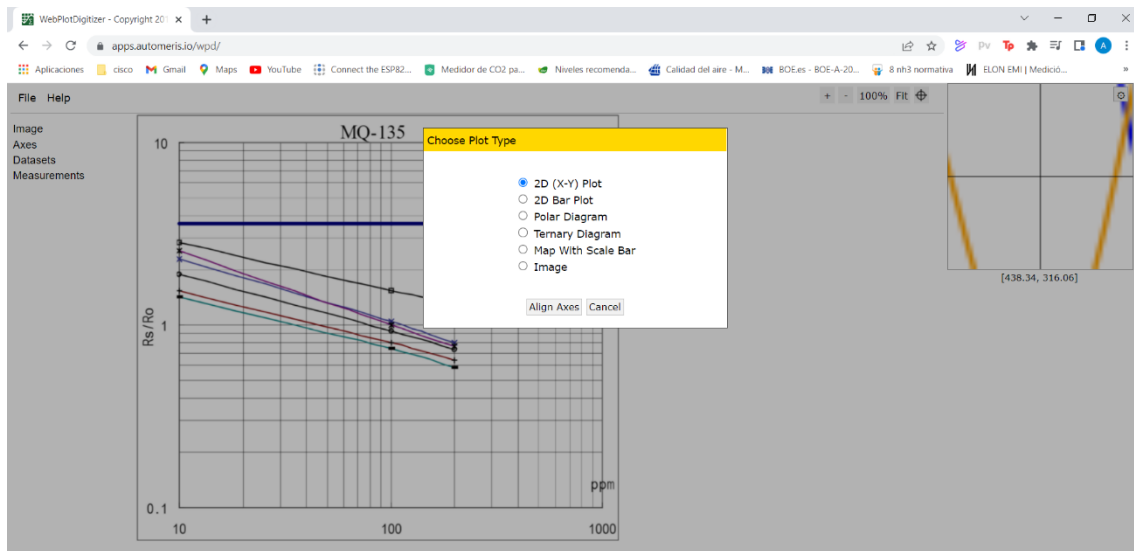


Figura 65. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ-135 en el software WPD.

Se eligen el tipo de gráfica “figura 2D” y se coloca las escalas de los ejes X y Y respectivamente, además se selecciona la escala logarítmica y se asume que los ejes se alinean con las coordenadas de la imagen.

X and Y Axes Calibration

Enter X-values of the two points clicked on X-axis and Y-values of the two points clicked on Y-axes

	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	0.1	10	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	10	1000	<input checked="" type="checkbox"/>

Assume axes are perfectly aligned with image coordinates (skip rotation correction)

*For dates, use yyyy/mm/dd hh:ii:ss format, where ii denotes minutes (e.g. 2013/10/23 or 2013/10 or 2013/10/23 10:15 or just 10:15). For exponents, enter values as 1e-3 for 10^-3.

OK

Figura 66. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Amoniaco.

Seleccionar los puntos sobre la curva característica para el gas NH₃ que va a detectar el sensor MQ-135.

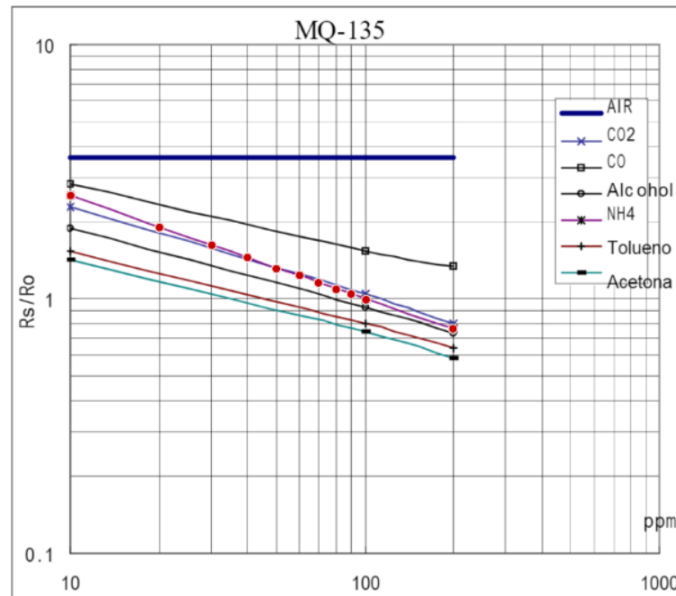


Figura 67. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para NH₃.

Los puntos colocados sobre la línea de tendencia de color magenta permiten obtener los datos necesarios del gas NH₃ para cargarlos en el software Microsoft Excel y así obtener la ecuación característica. Los datos obtenidos son descargados como archivo CSV.

Acquired Data

Dataset: Default Dataset ▾

Variables: X, Y

```

2,552690477984445; 10
1,9132334083739422; 20,02568136043118
1,6284947844916915; 30,155399011761446
1,4584926193362295; 39,810717055349734
1,3173626335627806; 49,93587893473148
1,2414311883814084; 59,94842503189409
1,1599966150172056; 69,385678737184
1,0931355874309396; 79,72367344807164
1,0477503796888885; 89,61505019466045
0,995768489974267; 100,73365757063925
0,765557649861909; 198,79831471807927
    
```

*Plotly is a secure data analysis and graphing site with data sharing and access controls.
Visit <http://plot.ly> for details.

Figura 68. Visualización de datos en el software WPD.

En la ecuación característica para el gas NH3 que se obtiene con la curva de sensibilidad y los valores cargados en el archivo Excel, después se define con el gráfico tipo dispersión que se utiliza para la relación de las dos variables de PPM y Rs/Ro.

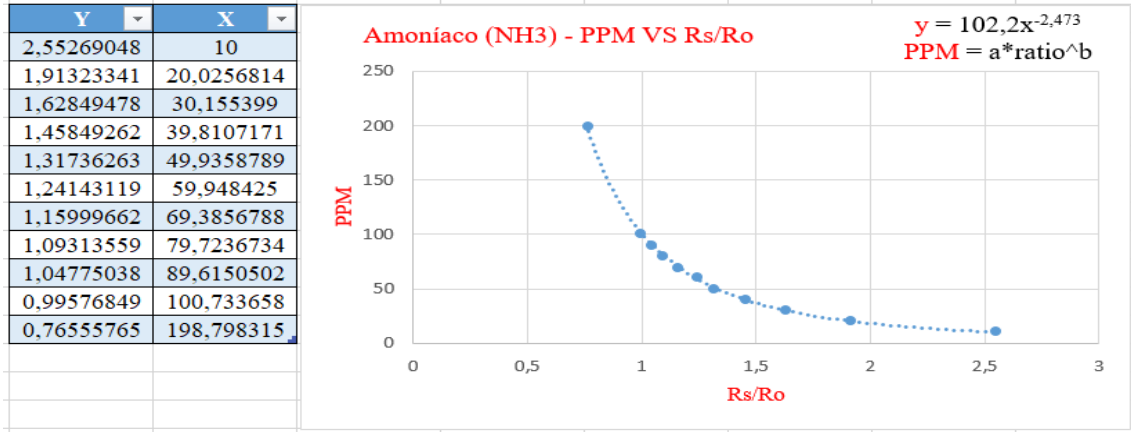


Figura 69. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de NH3 en Excel.

4.5. Configuración del Sensor MQ-7 para la detección de Monóxido de Carbono (CO)

A partir de la curva característica de sensibilidad de la figura 138 del anexo D, se carga la imagen en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo gráfica 2D (X-Y).

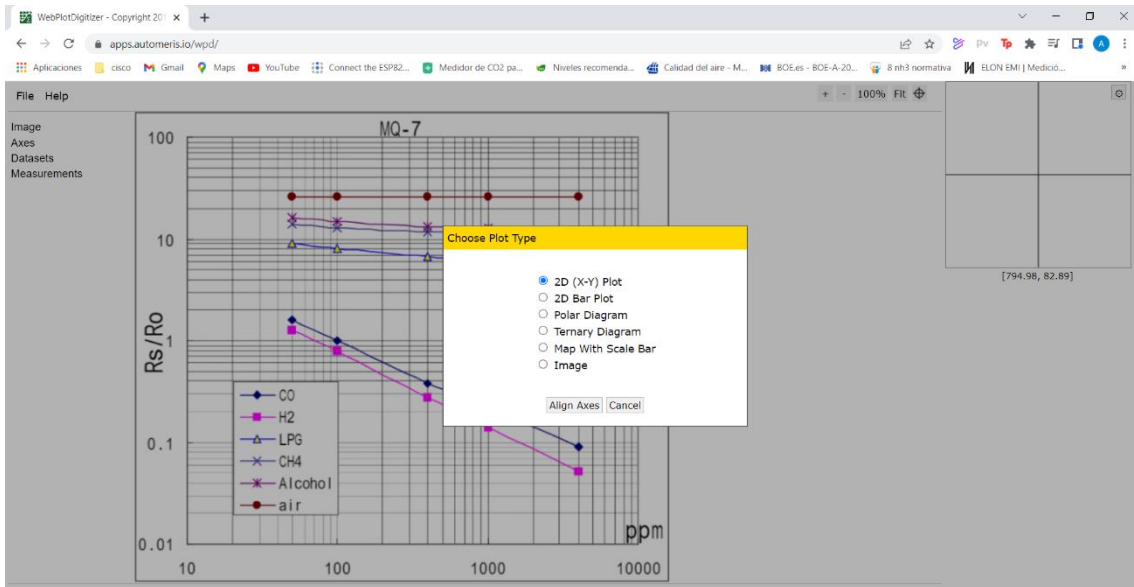


Figura 70. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ-7 en el software WPD.

Se eligen el tipo de gráfica “figura 2D” y se coloca las escalas de los ejes X y Y respectivamente, además se selecciona la escala logarítmica y se asume que los ejes se alinean con las coordenadas de la imagen.

X and Y Axes Calibration

Enter X-values of the two points clicked on X-axis and Y-values of the two points clicked on Y-axes

	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	0.01	100	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	10	10000	<input checked="" type="checkbox"/>

Assume axes are perfectly aligned with Image coordinates (skip rotation correction)

*For dates, use yyyy/mm/dd hh:ii:ss format, where ii denotes minutes (e.g. 2013/10/23 or 2013/10 or 2013/10/23 10:15 or just 10:15). For exponents, enter values as 1e-3 for 10⁻³.

OK

Figura 71. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Monóxido de Carbono.

Seleccionar los puntos sobre la curva característica para el gas CO que va a detectar el sensor MQ-7.

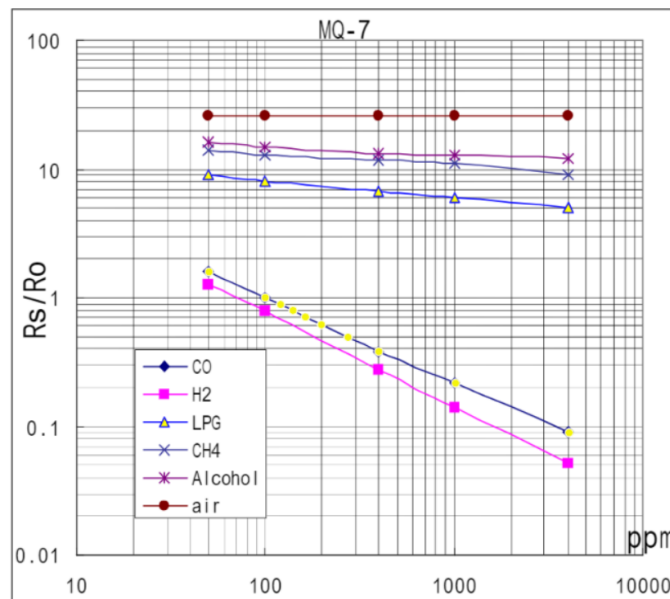


Figura 72. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para CO.

Los puntos colocados sobre la línea de tendencia de color azul permiten obtener los datos necesarios del gas CO para cargarlos en el software Microsoft Excel y así obtener la ecuación característica. Los datos obtenidos son descargados como archivo CSV.

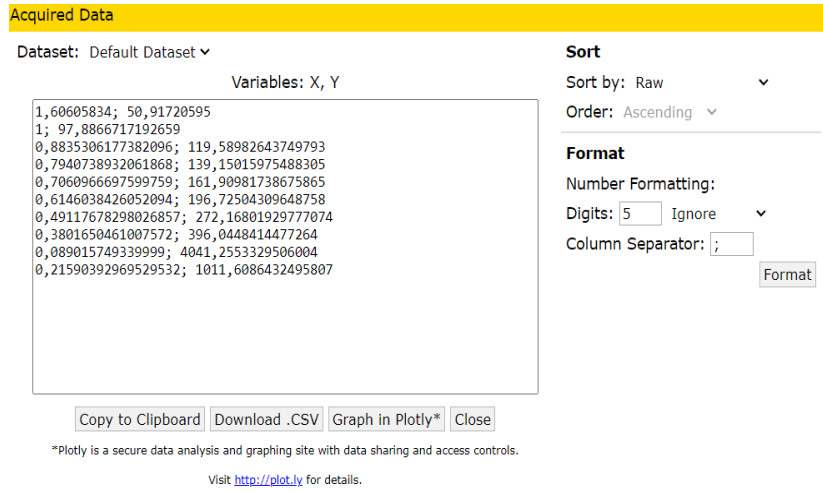


Figura 73. Visualización de datos en el software WPD.

En la figura 74 se muestra la ecuación característica para el gas CO que se obtiene con la curva de sensibilidad y los valores cargados en el archivo Excel, después se define con el gráfico tipo dispersión que se utiliza para la relación de las dos variables de PPM y Rs/Ro.

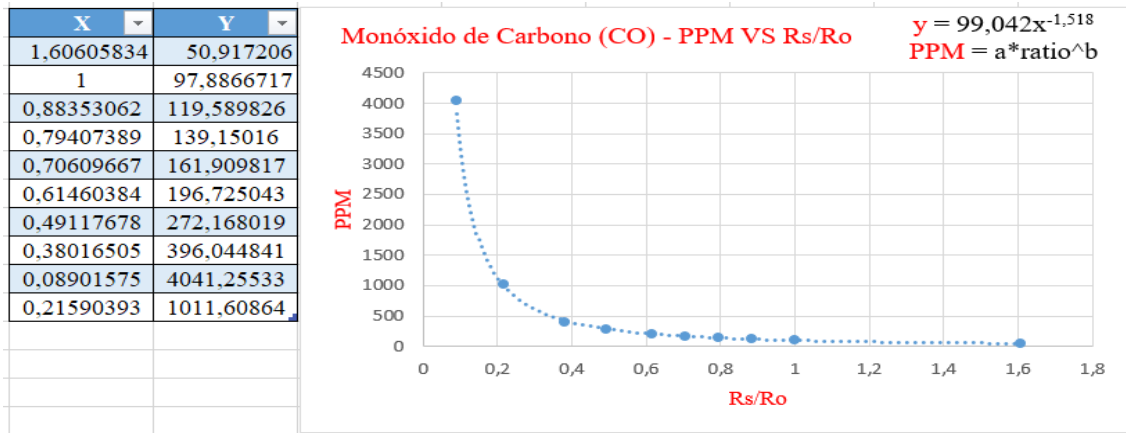


Figura 74. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de CO en Excel.

4.6. Configuración del Sensor MQ-131 para la detección de Ozono (O3)

A partir de la curva característica de sensibilidad de la figura 139 del anexo D, se carga la imagen en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo gráfica 2D (X-Y).

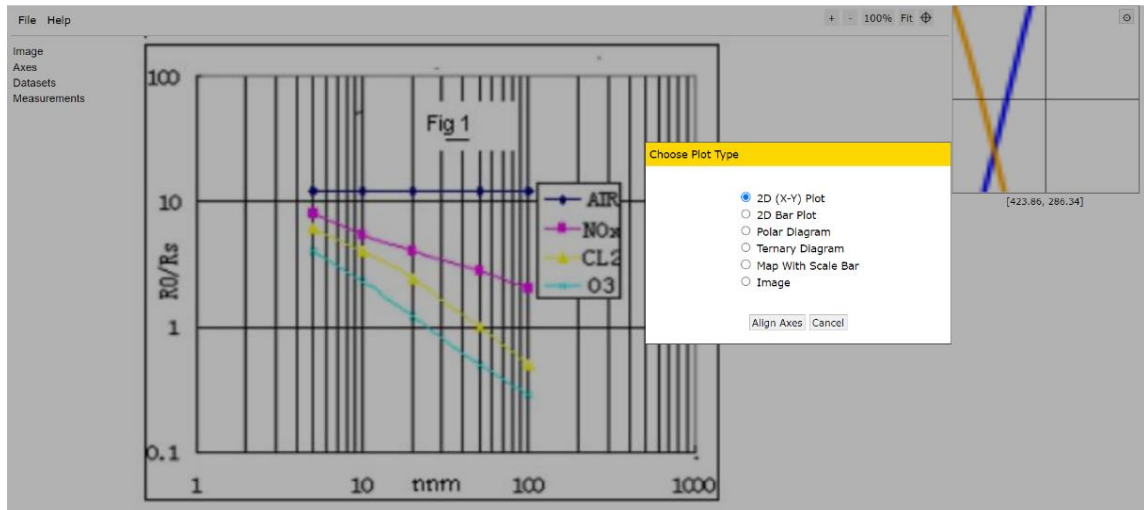


Figura 75. Gráfica característica de sensibilidad del sensor MQ-131 en el software WPD.

Se eligen el tipo de gráfica “figura 2D” y se coloca las escalas de los ejes X y Y respectivamente, además se selecciona la escala logarítmica y se asume que los ejes se alinean con las coordenadas.

X and Y Axes Calibration

Enter X-values of the two points clicked on X-axis and Y-values of the two points clicked on Y-axes

	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	0.1	100	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	1	1000	<input checked="" type="checkbox"/>

Assume axes are perfectly aligned with image coordinates (skip rotation correction)

*For dates, use yyyy/mm/dd hh:ii:ss format, where ii denotes minutes (e.g. 2013/10/23 or 2013/10 or 2013/10/23 10:15 or just 10:15). For exponents, enter values as 1e-3 for 10⁻³.

OK

Figura 76. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del Ozono.

Seleccionar los puntos sobre la curva característica para el gas O₃ que va a detectar el sensor MQ-131.

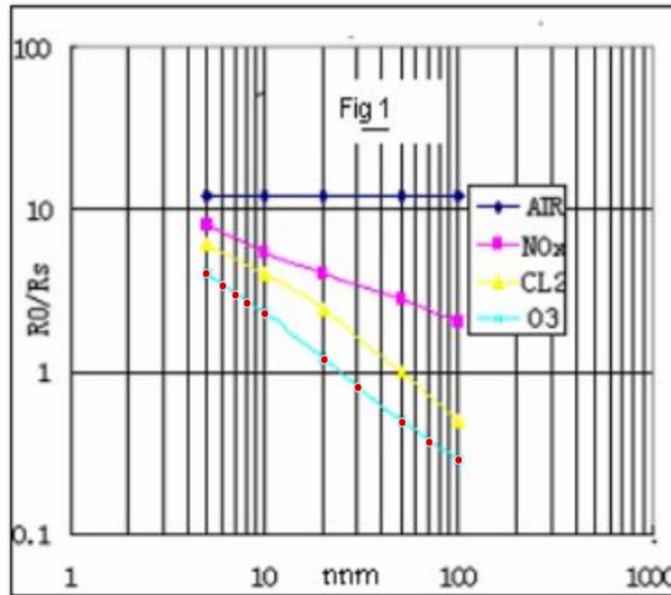


Figura 77. Selección de puntos en la curva de sensibilidad para O₃.

Los puntos colocados sobre la línea de tendencia de color cian permiten obtener los datos necesarios del gas O₃ para cargarlos en el software Microsoft Excel y así obtener la ecuación característica. Los datos obtenidos son descargados como archivo CSV.

Acquired Data

Dataset: Default Dataset ▾

Variables: X, Y

```
5,970352866; 4,957713629
3,4794406126348933; 6,028250027927394
3,0346186605496595; 6,999740941847579
2,7029075971311305; 8,000959581793563
2,2839284067553134; 9,971729563897163
1,2148127256079766; 19,765219392559395
0,8231058574642804; 29,517662800830134
0,4915446088135014; 50,78526288977497
0,3778362059747864; 69,01355929613766
0,2904018416825504; 98,31571700443808
```

Sort by: Raw ▾

Order: Ascending ▾

Format

Number Formatting:

Digits: 5 Ignore ▾

Column Separator: ;

Format

Copy to Clipboard Download .CSV Graph in Plotly* Close

*Plotly is a secure data analysis and graphing site with data sharing and access controls.
Visit <http://plot.ly> for details.

Figura 78. Visualización de datos en el software WPD.

En la ecuación característica para el gas O₃ que se obtiene con la curva de sensibilidad y los valores cargados en el archivo Excel, después se define con el gráfico tipo dispersión que se utiliza para la relación las dos variables de PPM y Rs/Ro.

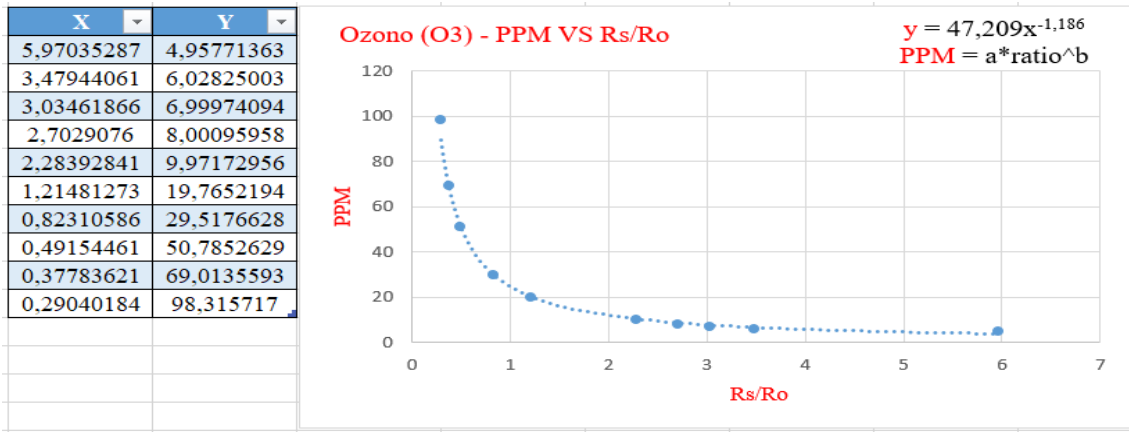
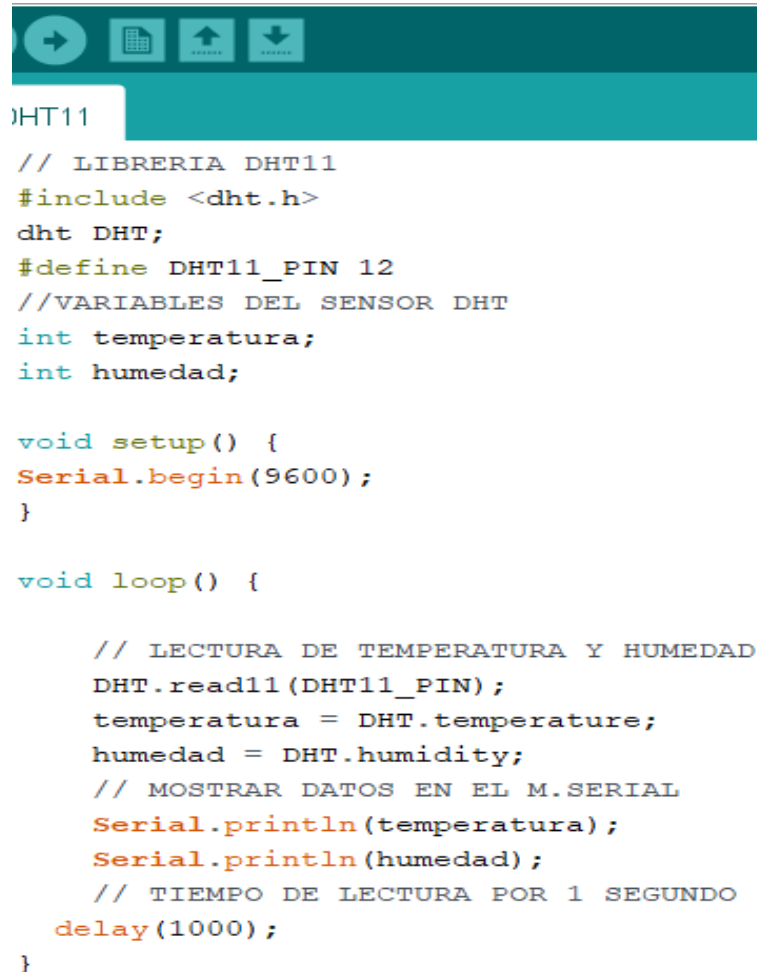


Figura 79. Visualización de la gráfica y la ecuación para la detección de O₃ en Excel.

4.7. Configuración del Sensor DHT11 para la detección de temperatura y humedad

La configuración del sensor DHT11 se la realiza mediante el uso de la librería “dht.h” que se encuentra disponible en el software Arduino IDE. Esta librería permite obtener datos de temperatura y humedad, mediante la declaración de variables y la habilitación de un pin digital que se comunica vía one wire con el sensor.



```
DHT11
// LIBRERIA DHT11
#include <dht.h>
dht DHT;
#define DHT11_PIN 12
//VARIABLES DEL SENSOR DHT
int temperatura;
int humedad;

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

void loop() {

  // LECTURA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD
  DHT.read11(DHT11_PIN);
  temperatura = DHT.temperature;
  humedad = DHT.humidity;
  // MOSTRAR DATOS EN EL M.SERIAL
  Serial.println(temperatura);
  Serial.println(humedad);
  // TIEMPO DE LECTURA POR 1 SEGUNDO
  delay(1000);
}
```

Figura 80. Código del Sensor DHT11.

4.8. Configuración del Sensor PMS 5003 para la detección de PM10 y PM2.5

La configuración del sensor PMS 5003 se la realiza mediante el uso de la librería “PMS.h” que se encuentra disponible en el software Arduino IDE. Esta librería permite obtener datos de medición de PM2.5 y PM10, mediante la declaración de variables y la habilitación de los puertos RX y TX que se comunica mediante la vía Serial UART con el sensor.

```

MS_5003§
// SENSOR PMS5003 DECLARACION DE VARIABLES
#include "PMS.h"
PMS pms(Serial);
PMS::DATA data;
//VARIABLES DEL SENSOR PMS5003
int PM25; // MATERIAL PARTICULADO PM2.5
int PM10; // MATERIAL PARTICULADO PM10

void setup() {
  Serial.begin(9600); // HABILITACION DE LA COMUNICACIÓN SERIAL
  pms.passiveMode();// TRANSMISION AUTOMÁTICA DE DATOS
}

void loop() {

  // SENSOR PMS 5003 - PM2.5 - PM10
  //FUNCION DE LECTURA
  if (pms.readUntil(data))
  {
    PM25 = data.PM_AE_UG_2_5;
    PM10 = data.PM_AE_UG_10_0;

    if(PM25>999 || PM10>999){
      PM25 = 1000;
      PM10 = 1000;
    }
    if(PM25<0 || PM10<0){
      PM25 = 0;
      PM10 = 0;
    }
    Serial.println(PM10);
    Serial.println(PM25);
  }
}

```

Figura 81. Código del Sensor PMS 5003.

4.9.

4.10.

4.11. Calibración de sensores

4.11.1. Dióxido de Carbono – Sensor MQ-135

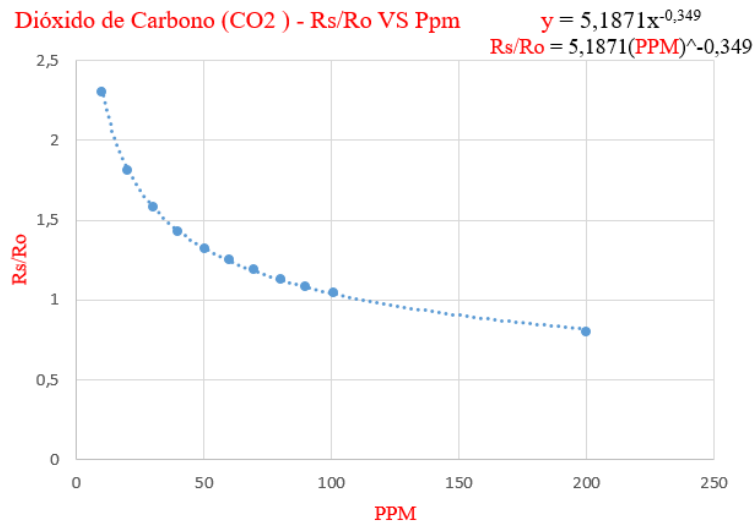


Figura 82. Ecuación y curva de sensibilidad de CO₂.

Mediante la ecuación Ec (3) se tiene Rs/Ro en función de ppm del Dióxido de Carbono (CO₂).

$$\frac{R_s}{R_o} = 5.1871 (PPM)^{-0.349} \quad \text{Ec (3)}$$

Datos_1:

R_s: Resistencia del sensor en distintas variaciones del gas.

PPM: Partes por millón.

R_o: Resistencia del sensor aire limpio del contaminante.

El circuito proporciona un divisor de voltaje, mediante la ecuación Ec (4) donde se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

$$R_S = \frac{V_{cc}-V_{out}}{V_{out}} * R_L \quad \text{Ec (4)}$$

Datos_2:

V_{cc}: 5 V.

V_{out}: Voltaje de salida.

R_L: Resistencia de carga igual a 10k ohm.

Al igualar la ecuación Ec (3) y la ecuación Ec (4) se tiene la ecuación Ec (5) en la cual presenta el valor de ppm de gas Dióxido de Carbono en función de voltaje de salida del sensor.

$$\begin{aligned} \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * R_L &= R_o * 5.187(ppm)^{-0.349} \\ \frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 5.187)} &= (ppm)^{-0.349} \\ \ln(ppm)^{-0.349} &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 5.187)} \right] \\ -0.349 \ln ppm &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 5.187)} \right] \\ \ln ppm &= \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 5.187)} \right]}{-0.364} \\ ppm &= \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 5.187)} \right]}{-0.364} \\ ppm &= e^{\frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 5.187)} \right]}{-0.364}} \end{aligned} \quad \text{Ec (5)}$$

4.11.2. Amoniaco – Sensor MQ-135.

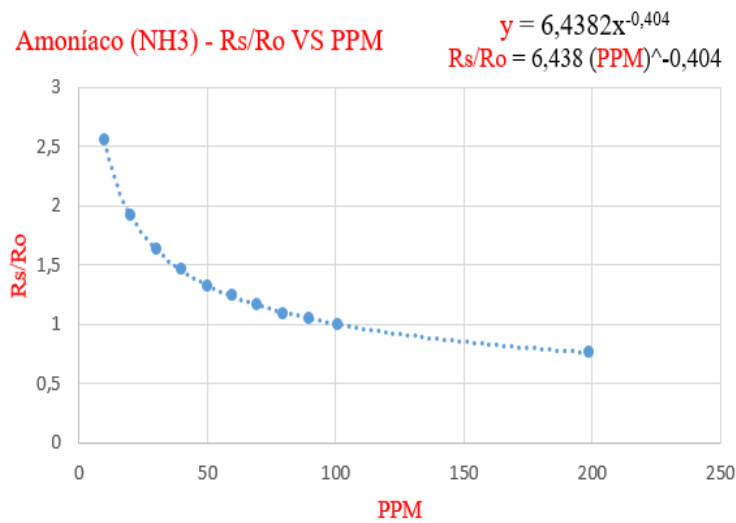


Figura 83. Ecuación y curva de sensibilidad de NH₃.

Mediante la ecuación Ec (6) se tiene Rs/Ro en función de ppm de Amoniaco (NH₃).

$$\frac{R_s}{R_o} = 6.438 (PPM)^{-0.404} \quad \text{Ec (6)}$$

Datos_3:

R_s: Resistencia del sensor en distintas variaciones del gas.

PPM: Partes por millón.

R_o: Resistencia del sensor en aire limpio del contaminante.

En el circuito proporciona un divisor de voltaje, mediante la ecuación Ec (7) donde se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

$$R_S = \frac{V_{CC} - V_{out}}{V_{out}} * R_L \quad \text{Ec (7)}$$

Datos_4:

V_{cc}: 5 V.

V_{out}: Voltaje de salida del sensor.

R_L: Resistencia de carga igual a 20k ohm.

Al igualar la ecuación Ec (6) y la ecuación Ec (7) se tiene la ecuación Ec (8) en la cual presenta el valor de ppm de gas Amoniaco en función de voltaje de salida del sensor.

$$\begin{aligned}\frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * R_L &= R_o * 6.438(ppm)^{-0.404} \\ \frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 6.438)} &= (ppm)^{-0.404} \\ \ln(ppm)^{-0.404} &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 6.438)} \right] \\ -0.404 \ln ppm &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 6.438)} \right] \\ \ln ppm &= \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 6.438)} \right]}{-0.404} \\ ppm &= \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 6.438)} \right]}{-0.364} \\ ppm &= e^{\frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 6.438)} \right]}{-0.404}} \quad \text{Ec (8)}\end{aligned}$$

4.11.3. Dióxido de Nitrógeno – Sensor MQ-135.

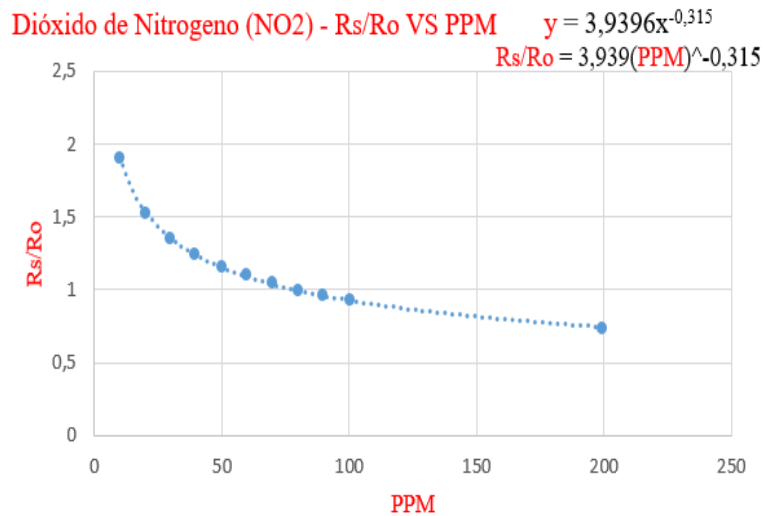


Figura 84. Ecuación y curva de sensibilidad de NO2.

Mediante la ecuación Ec (9) se tiene Rs/Ro en función de ppm de Dióxido de Nitrógeno (NO2).

$$\frac{R_s}{R_o} = 3.939 (PPM)^{-0.315} \quad \text{Ec (9)}$$

Datos_5:

R_s: Resistencia del sensor en distintas variaciones de gases.

PPM: Partes por millón.

R_o: Resistencia del sensor en aire limpio del contaminante.

En el circuito proporciona un divisor de voltaje, mediante la ecuación Ec (10) donde se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

$$RS = \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * RL \quad \text{Ec (10)}$$

Datos_6:

V_{cc}: 5 V.

V_{out}: Voltaje de salida del sensor.

R_L: Resistencia de carga igual a 20k ohm.

Al igualar la ecuación Ec (9) y la ecuación Ec (10) se tiene la ecuación Ec (11) en la cual presenta el valor de ppm de gas Dióxido de Nitrógeno en función de voltaje de salida del sensor.

$$\begin{aligned}\frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * R_L &= R_o * 3.939(ppm)^{-0.315} \\ \frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 3.939)} &= (ppm)^{-0.315} \\ \ln(ppm)^{-0.315} &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 3.939)} \right] \\ -0.315 \ln ppm &= \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 3.939)} \right] \\ \ln ppm &= \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 3.939)} \right]}{-0.315} \\ ppm &= \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 3.939)} \right]}{-0.315} \\ ppm &= e^{\frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 3.939)} \right]}{-0.315}} \quad \text{Ec (11)}\end{aligned}$$

4.11.4. Monóxido de Carbono – Sensor MQ-7.

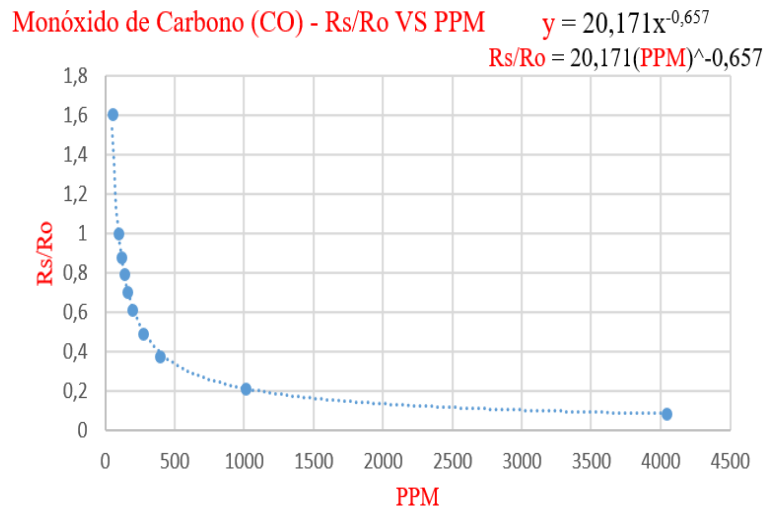


Figura 85. Ecuación y curva de sensibilidad de CO.

Mediante la ecuación Ec (12) se tiene R_s/R_o en función de ppm de Monóxido de Carbono (CO).

$$\frac{R_s}{R_o} = 20.171 (PPM)^{-0.657} \quad \mathbf{Ec (12)}$$

Datos_7:

R_s : Resistencia del sensor en distintas variaciones del gas.

PPM: Partes por millón.

R_o : Resistencia del sensor en aire limpio del contaminante.

El circuito proporciona un divisor de voltaje, mediante la ecuación Ec (13) donde se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

$$R_S = \frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * R_L \quad \mathbf{Ec (13)}$$

Datos_8:

V_{cc}: 5 V.

V_{out}: Voltaje de salida del sensor.

R_L: Resistencia de carga igual a 10k ohm.

Al igualar la ecuación Ec (12) y la ecuación Ec (13) se tiene la ecuación Ec (14) en la cual presenta el valor de ppm de gas Monóxido de Carbono en función de voltaje de salida del sensor.

$$\frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * RL = R_o * 20.171(ppm)^{-0.657}$$

$$\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{(R_o * 20.171)} = (ppm)^{-0.657}$$

$$\ln(ppm)^{-0.657} = \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{(R_o * 20.171)} \right]$$

$$-0.657 \ln ppm = \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{(R_o * 20.171)} \right]$$

$$\ln ppm = \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{(R_o * 20.171)} \right]}{-0.657}$$

$$ppm = \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{(R_o * 20.171)} \right]}{-0.657}$$

$$ppm = e^{\frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{10}{(R_o * 20.171)} \right]}{-0.657}} \quad \text{Ec (14)}$$

4.11.5. Ozono – MQ-131.

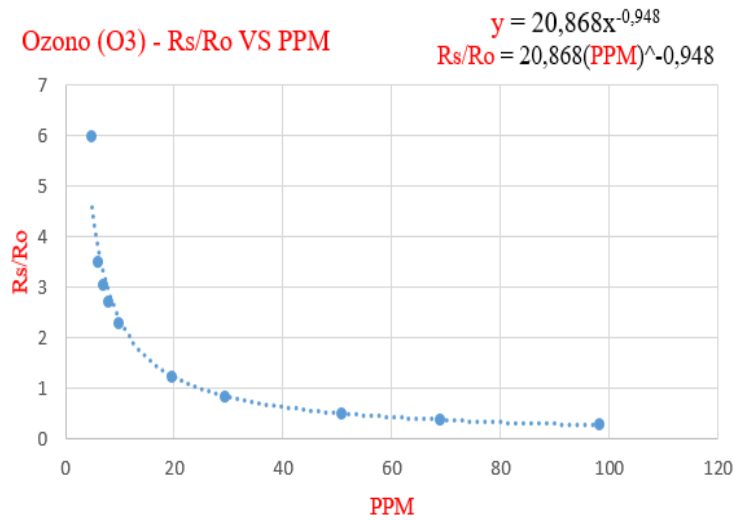


Figura 86. Ecuación y curva de sensibilidad de O3.

Mediante la ecuación Ec (15) se tiene Rs/Ro en función de ppm de Ozono (O3).

$$\frac{Rs}{Ro} = 20.868 (PPM)^{-0.948} \quad \mathbf{Ec (15)}$$

Datos_9:

R_s: Resistencia del sensor en distintas variaciones del gase.

PPM: Partes por millón.

R_o: Es la resistencia del sensor en aire limpio.

En el circuito proporciona un divisor de voltaje, mediante la ecuación Ec (16) donde se calcula la resistencia del sensor en función del voltaje de salida del sensor.

$$RS = \frac{V_{cc}-V_{out}}{V_{out}} * RL \quad \mathbf{Ec (16)}$$

Datos_10:

V_{cc}: 5 V.

V_{out}: Voltaje de salida del sensor.

R_L: Resistencia de carga es igual a 20k ohm.

Al igualar la ecuación Ec (15) y la ecuación Ec (16) se tiene la ecuación Ec (17) en la cual muestra el valor de ppm de gas Ozono en función de voltaje de salida del sensor.

$$\frac{V_{cc} - V_{out}}{V_{out}} * RL = R_o * 20.868(ppm)^{-0.948}$$

$$\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 20.868)} = (ppm)^{-0.948}$$

$$\ln(ppm)^{-0.948} = \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 20.868)} \right]$$

$$-0.948 \ln ppm = \ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 20.868)} \right]$$

$$\ln ppm = \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 20.868)} \right]}{-0.948}$$

$$ppm = \frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 20.868)} \right]}{-0.948}$$

$$ppm = e^{\frac{\ln \left[\frac{5 - V_{out}}{V_{out}} * \frac{20}{(R_o * 20.868)} \right]}{-0.948}} \quad \mathbf{Ec (17)}$$

4.12. Diagrama de bloques del Sistema.

Se presenta el diagrama de bloques del prototipo, este diagrama consta de tres subsistemas fundamentales para un correcto funcionamiento del prototipo utilizando la tarjeta electrónica de control Arduino Mega.

Estos subsistemas son:

1. **Sistema de programación:** En este sistema se hace referencia a todos los softwares de diseño que se utilizan para el desarrollo de los códigos de programación e interfaces de monitoreo.
2. **Sistema de detección:** En este sistema se realiza la adquisición de datos de los sensores, además estos datos son enviados a la placa Arduino para su debido procesamiento.
3. **Sistema de comunicación:** En este sistema se hace referencia a los diferentes tipos que se comunican utilizando el envío de data procesada por la tarjeta Arduino.

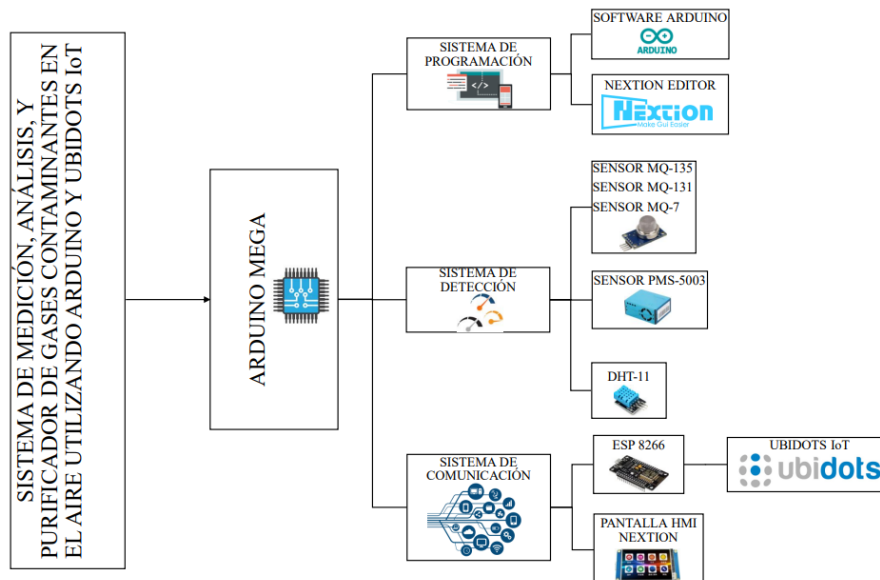


Figura 87. Diagrama de bloques del sistema.

4.13. Diagrama de flujo del Sistema.

Se presenta el diagrama de flujo del prototipo.

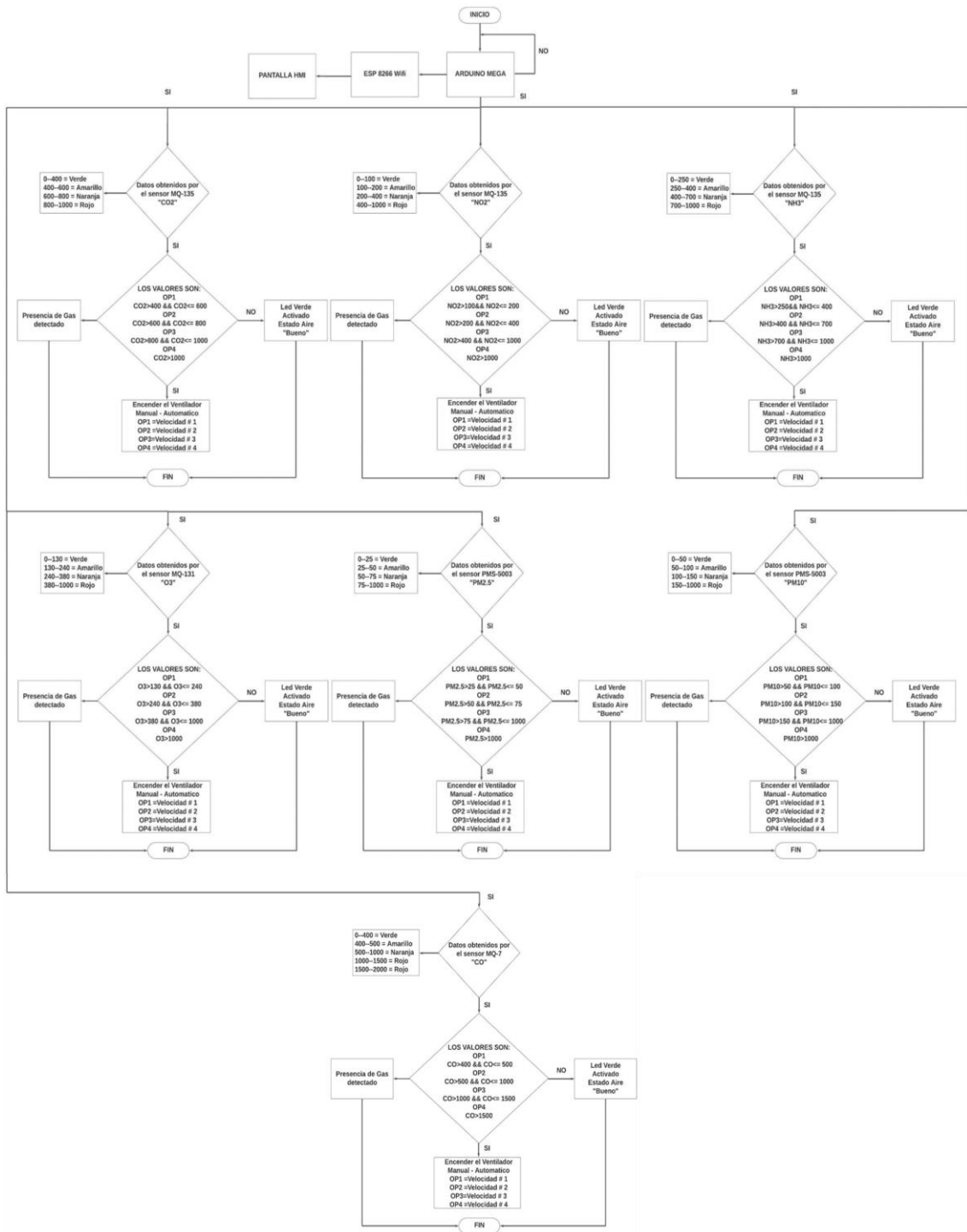


Figura 88. Diagrama de flujo del sistema.

4.14. Diagrama de conexión electrónica del prototipo

Se presenta la conexión electrónica para el “Sistema de medición, análisis y purificador de gases contaminantes en el aire”.

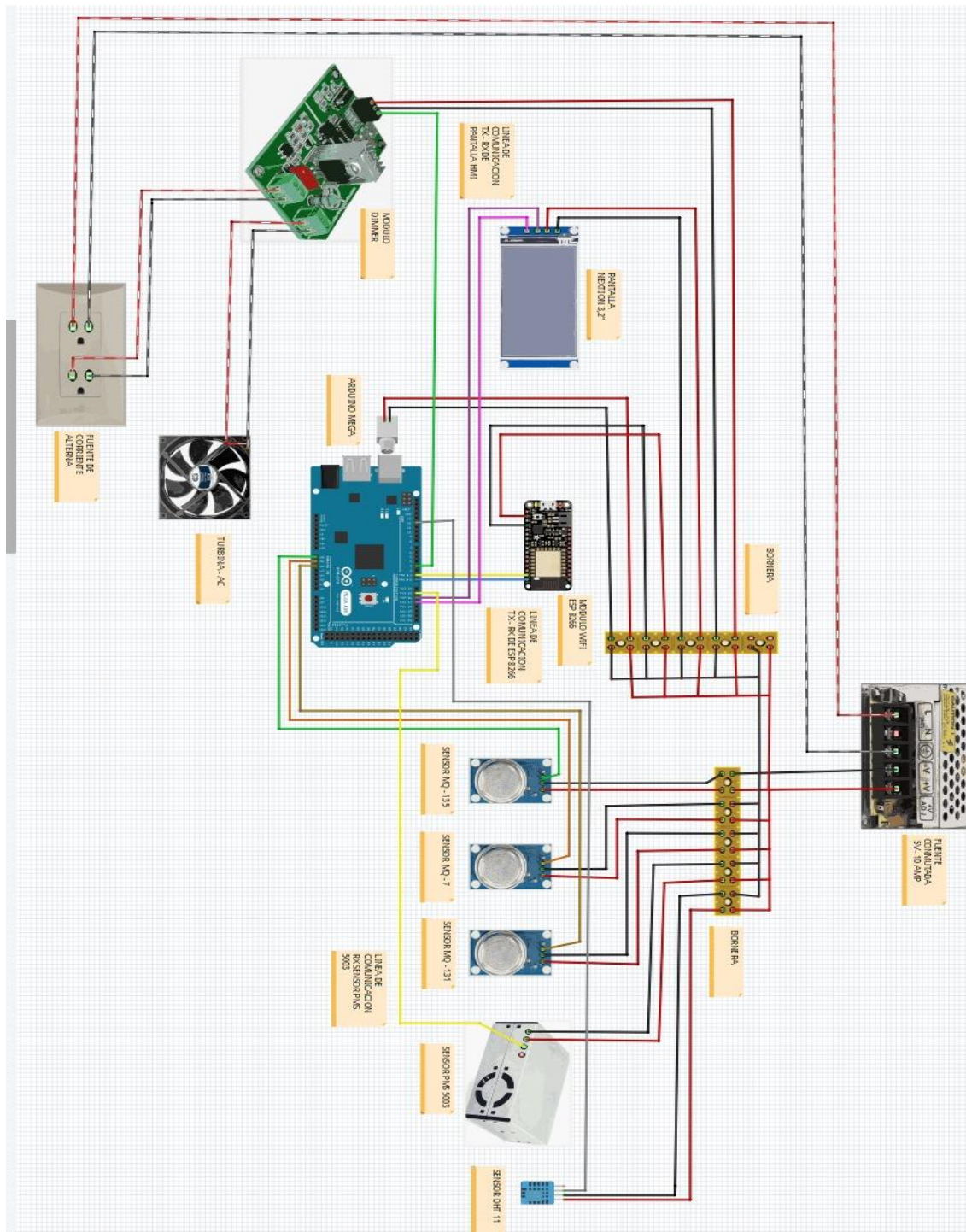


Figura 89. Vista general de las conexiones del prototipo.

4.15. Programación Arduino.

//DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN, ANÁLISIS Y PURIFICADOR DE GASES CONTAMINANTES EN EL AIRE UTILIZANDO ARDUINO Y UBIDOTS IoT

```
#include <stdio.h>
```

```
// SENSORES MQ DECLARACION DE VARIABLES Y LIBRERIA
```

```
#include <MQUnifiedsensor.h> // LIBRERIA SENSORES MQ
```

```
String buff;
```

```
#define Board ("Arduino MEGA") // MODELO DE PLACA ARDUINO
```

```
#define PinMQ135 (A0) //ENTRADA ANALOGICA 0 DE ARDUINO
```

```
#define PinMQ7 (A1) //ENTRADA ANALOGICA 1 DE ARDUINO
```

```
#define PinMQ131 (A2) //ENTRADA ANALOGICA 2 DE ARDUINO
```

```
#define RatioMQ135CleanAir 3.6//RS / R0 = 3.6 ppm
```

```
#define RatioMQ7CleanAir 27.5 //RS / R0 = 27.5 ppm
```

```
#define RatioMQ131CleanAir 15 //RS / R0 = 15 ppm
```

```
#define ADC_Bit_Resolution (10) // 10 bit ADC
```

```
#define Voltage_Resolution (5) // Volt resolution to calc the voltage
```

```
#define Type_0 "MQ-135" //MQ135
```

```
#define Type_1 "MQ-7" //MQ7
```

```
#define Type_2 "MQ-131" //MQ131
```

```
// DEFINIR VARIABLE PWM
```

```
#define turbina 3
```

```
// DECLARAMOS LOS SENSORES MQ
```

```
MQUnifiedsensor MQ135(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution,
PinMQ135, Type_0);
```

```
MQUnifiedsensor MQ7(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution,
PinMQ7, Type_1);
```

```
MQUnifiedsensor MQ131(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution,
PinMQ131, Type_2);
```

```
//*****
*****
```

```
// LIBRERIA DHT11
```

```
#include <dht.h> // LIBRERIA DHT
```

```
dht DHT;
```

```
#define DHT11_PIN 12
```

```
//*****
*****
```

```
// SENSOR PMS5003 DECLARACION DE VARIABLES
```

```
#include "PMS.h" // LIBRERIA PMS
```

```
PMS pms(Serial3);
```

```
PMS::DATA data;
```

```
int PM25; // VARIABLE MATERIAL PARTICULADO PM2.5
```

```
int PM10; // VARIABLE MATERIAL PARTICULADO PM10
```

```
int PM25_Z; // VARIABLE MATERIAL PARTICULADO PM2.5 - PANTALLA
HMI
```

```
int PM10_Z; // VARIABLE MATERIAL PARTICULADO PM10 - PANTALLA
HMI
```

```
//*****
*****
```

```
// PANTALLA HMI NEXTION
```

```
#include "Nextion.h"
```

```
//CREAR OBJETOS
```

```
NexNumber n0 = NexNumber(4,8,"n0");
```

```
NexNumber n1 = NexNumber(4,3,"n1");
```

```
NexNumber n2 = NexNumber(5,9,"n2");
NexNumber n3 = NexNumber(6,10,"n3");
NexNumber n4 = NexNumber(6,9,"n4");
NexNumber n5 = NexNumber(7,10,"n5");
NexNumber n6 = NexNumber(7,8,"n6");
NexNumber n7 = NexNumber(8,2,"n7");
NexNumber n8 = NexNumber(8,4,"n8");
NexGauge z0 = NexGauge(5,4,"z0");
NexGauge z1 = NexGauge(6,6,"z1");
NexGauge z2 = NexGauge(6,7,"z2");
NexGauge z3 = NexGauge(7,7,"z3");
NexGauge z4 = NexGauge(7,6,"z4");
NexGauge z5 = NexGauge(8,9,"z5");
NexGauge z6 = NexGauge(8,8,"z6");
NexCheckbox c0 = NexCheckbox (12, 15, "c0");
NexCheckbox c1 = NexCheckbox (12, 14, "c1");
NexCheckbox c100 = NexCheckbox (12, 3, "c100");
NexCheckbox c75 = NexCheckbox (12, 4, "c75");
NexCheckbox c50 = NexCheckbox (12, 5, "c50");
NexCheckbox c25 = NexCheckbox (12, 6, "c25");
NexDSButton bt0 = NexDSButton(4,10,"bt0");
NexDSButton bt1 = NexDSButton(5,10,"bt1");
```

```
//DECLARAMOS VARIABLES PARA LOS CHECKBOX
```

```
uint32_t valorc0;
uint32_t valorc1;
uint32_t valorc100;
uint32_t valorc75;
uint32_t valorc50;
uint32_t valorc25;
uint32_t valorbt0;
uint32_t valorbt1;
```

```
// LISTA DE EVENTOS TACTILES PANTALLA HMI
```

```

NexTouch *nex_listen_list[] =
{
    &c0,
    &c1,
    &c100,
    &c75,
    &c50,
    &c25,
    &bt0,
    &bt1,
    NULL
};
// FUNCION DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LOS CHECKBOX
void lectura_estado()
{
    c0.getValue(&valorc0);
    c1.getValue(&valorc1);
    c100.getValue(&valorc100);
    c75.getValue(&valorc75);
    c50.getValue(&valorc50);
    c25.getValue(&valorc25);
    bt0.getValue(&valorbt0);
    bt1.getValue(&valorbt1);
}

//*****
*****

void setup() {

    Serial.begin(9600); // INICIALIZAR PUERTO
    Serial2.begin(9600); // INICIALIZAR PUERTO 2
    Serial3.begin(9600); // INICIALIZAR PUERTO 3
    pinMode(turbina,OUTPUT);
    digitalWrite(turbina,LOW);
}

```

// ESTABLECER UN MODELO MATEMÁTICO PARA CALCULAR LA
CONCENTRACIÓN DE PPM Y EL VALOR DE LAS CONSTANTES

//SENSOR MQ 135

/*

Exponential regression:

GAS | a | b

CO | 605.18 | -3.937

Alcohol NO2 | 77.255 | -3.18

CO2 | 110.47 | -2.862

Tolueno | 44.947 | -3.445

NH4 - NH3 | 102.2 | -2.473

Acetona | 34.668 | -3.369

*/

// CO2

MQ135.setRegressionMethod(1); // _PPM = a*ratio^b

MQ135.setA(110.47); MQ135.setB(-2.862); // CONFIGURACIÓN DE
VALORES EN LA ECUACIÓN PARA CALCULAR CO2

// NO2

MQ135.setRegressionMethod(1); // _PPM = a*ratio^b

MQ135.setA(77.255); MQ135.setB(-3.18); // CONFIGURACIÓN DE
VALORES EN LA ECUACIÓN PARA CALCULAR NO2

// NH4 - NH3

MQ135.setRegressionMethod(1); // _PPM = a*ratio^b

MQ135.setA(102.2); MQ135.setB(-2.473); // CONFIGURACIÓN DE
VALORES EN LA ECUACIÓN PARA CALCULAR NH3

//SENSOR MQ 7

/*

Exponential regression:

GAS | a | b

```

H2   | 69.014 | -1.374
LPG  | 700000000 | -7.703
CH4  | 60000000000000 | -10.54
CO   | 99.042 | -1.518
Alcohol | 40000000000000000 | -12.35
*/

// CO
MQ7.setRegressionMethod(1); // _PPM = a*ratio^b
MQ7.setA(99.042); MQ7.setB(-1.518); // CONFIGURACIÓN DE VALORES
EN LA ECUACIÓN PARA CALCULAR CO

//SENSOR MQ 131

/*
   Exponential regression:
GAS  | a   | b
NOx  | -462.43 | -2.204
CL2  | 47.209 | -1.186
O3   | 23.943 | -1.11
*/

// O3
MQ131.setRegressionMethod(1); // _PPM = a*ratio^b
MQ131.setA(23.943); MQ131.setB(-1.11); // CONFIGURACIÓN DE
VALORES EN LA ECUACIÓN PARA CALCULAR O3

//INICIALIZACIÓN PANTALLA HMI
nexInit();
//LISTA DE ENVIO DE EVENTOS
c0.attachPop(lectura_estado);
c1.attachPop(lectura_estado);
c100.attachPop(lectura_estado);

```

```

c75.attachPop(lectura_estado);
c50.attachPop(lectura_estado);
c25.attachPop(lectura_estado);
bt0.attachPop(lectura_estado);
bt1.attachPop(lectura_estado);

//PMS 5003
pms.passiveMode();

// Init MQ 135
MQ135.init();

// Init MQ 7
MQ7.init();

// Init MQ 131
MQ131.init();

// CALIBRACIÓN DE RESISTENCIA R0 PARA LOS SENSORES MQ
Serial.print("***** MQ CALibration *****");
Serial.println("Calibrating please wait.");
float MQ135calcR0 = 0;
float MQ7calcR0 = 0;
float MQ131calcR0 = 0;

for (int i = 1; i <= 10; i++)
{
  //Update the voltage lectures
  MQ135.update();
  MQ7.update();
  MQ131.update();

  MQ135calcR0 += MQ135.calibrate(RatioMQ135CleanAir);
  MQ7calcR0 += MQ7.calibrate(RatioMQ7CleanAir);
}

```

```

MQ131calcR0 += MQ131.calibrate(RatioMQ131CleanAir);

Serial.print(".");
}
MQ135.setR0(MQ135calcR0 / 10);
MQ7.setR0(MQ7calcR0 / 10);
MQ131.setR0(MQ131calcR0 / 10);

Serial.println(" done!");

Serial.print("MQ135calcR0 :");
Serial.println(MQ135calcR0 / 10);
Serial.print("MQ7calcR0 :");
Serial.println(MQ7calcR0 / 10);
Serial.print("MQ131calcR0 :");
Serial.println(MQ131calcR0 / 10);

Serial.println("***** MQ CALibration *****");

}

void loop() {

buff="";
//ACTUALIZAR VALORES DE VOLTAJE PARA LOS SENSORES MQ
MQ135.update();
MQ7.update();
MQ131.update();

// LECTURA DE DATOS - SENSORES MQ

//*****
*****

```



```

// DIÓXIDO DE CARBONO (CO2)
int CO2= MQ135.readSensor();

if(CO2>999){
  CO2 = 1000;
}
if(CO2<0){
  CO2 = 0;
}
int CO2_Z = map(CO2,0,1000,0,180);

//*****
*****

//DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO2)
int NO2= MQ135.readSensor();

if(NO2>999){
  NO2 = 1000;
}
if(NO2<0){
  NO2 = 0;
}
int NO2_Z = map(NO2,0,1000,0,180);

//*****
*****

// AMONÍACO NH3
int NH3= MQ135.readSensor();

if(NH3>999){
  NH3 = 1000;
}

```

```
if(NH3<0){
    NH3 = 0;
}
int NH3_Z = map(NH3,0,1000,0,180);
```

```
//*****
*****
```

```
// MONÓXIDO DE CARBONO (CO)
```

```
int CO=MQ7.readSensor();
```

```
if(CO>1999){
```

```
    CO = 2000;
```

```
}
```

```
if(CO<0){
```

```
    CO = 0;
```

```
}
```

```
int CO_Z = map(CO,0,1000,0,180);
```

```
//*****
*****
```

```
// OZONO (O3)
```

```
int O3=MQ131.readSensor();
```

```
if(O3>999){
```

```
    O3 = 1000;
```

```
}
```

```
if(O3<0){
```

```
    O3 = 0;
```

```
}
```

```
int O3_Z = map(O3,0,1000,0,180);
```

```

//*****
*****

// LECTURA DE DATOS - TEMPERATURA Y HUMEDAD (DHT11)
DHT.read11(DHT11_PIN);

int temperatura = DHT.temperature;
int humedad = DHT.humidity;

//*****
*****

// LECTURA DE DATOS - SENSOR PMS 5003 - PM2.5 - PM10

if (pms.readUntil(data))
{
  PM25 = data.PM_AE_UG_2_5;
  PM10 = data.PM_AE_UG_10_0;

  if(PM25>999 || PM10>999){
    PM25 = 1000;
    PM10 = 1000;
  }
  if(PM25<0 || PM10<0){
    PM25 = 0;
    PM10 = 0;
  }
  PM25_Z = map(PM25,0,1000,0,180);
  PM10_Z = map(PM10,0,1000,0,180);

}

//*****
*****

//MOSTRAR DATOS SENSORES - MONITOR SERIAL

```



```

Serial.println(buff);
// TIEMPO DE LECTURA 1 SEGUNDO
delay(1000);

//LISTA DE EVENTOS TACTILES - LINEA DE EJECUCIÓN PANTALLA HMI
nexLoop(nex_listen_list);

//CONDICIONES PARA PANTALLA NEXTION - ENVIO DE DATOS A LA
PANTALLA HMI

//ACTUALIZAR DATOS EN PANTALLA DE CLIMA
if(valorbt0==1){
    n0.setValue(temperatura);
    n1.setValue(humedad);
}
else if(valorbt0==0){
//
}
//ACTUALIZAR DATOS EN PANTALLA DE SENSORES
if(valorbt1==1){
    n2.setValue(NO2);
    z0.setValue(NO2_Z);
    n3.setValue(CO2);
    z1.setValue(CO2_Z);
    n4.setValue(CO);
    z2.setValue(CO_Z);
    n5.setValue(NH3);
    z3.setValue(NH3_Z);
    n6.setValue(O3);
    z4.setValue(O3_Z);
    n7.setValue(PM10);
    z5.setValue(PM10_Z);
    n8.setValue(PM25);
    z6.setValue(PM25_Z);
}

```

```

    }
else if(valorbt1==0){
    //
}

//*****
*****

//CONDICIONES PARA PANTALLA NEXTION
//CONTROL Y VELOCIDAD DE TURBINA

// SISTEMA AUTOMATICO DE TURBINA
if(valorc1==1){
    //CONDICIONES PARA CO2
if(CO2>400 && CO2<= 600){analogWrite(turbina,150);}
else if(CO2>600 && CO2<= 800){analogWrite(turbina,175);}
else if(CO2>800 && CO2<= 1000){analogWrite(turbina,200);}
else if(CO2>1000){analogWrite(turbina,255);}

//CONDICIONES PARA NO2
else if(NO2>100 && NO2<=200){analogWrite(turbina,150);}
else if(NO2>200 && NO2<=400){analogWrite(turbina,175);}
else if(NO2>400 && NO2<=1000){analogWrite(turbina,200);}
else if(NO2>1000){analogWrite(turbina,255);}

//CONDICIONES PARA NH3
else if(NH3>250 && NH3<=400){analogWrite(turbina,150);}
else if(NH3>400 && NH3<=700){analogWrite(turbina,175);}
else if(NH3>700 && NH3<=1000){analogWrite(turbina,200);}
else if(NH3>1000){analogWrite(turbina,255);}

//CONDICIONES PARA CO
else if(CO>400 && CO<=500){analogWrite(turbina,150);}
else if(CO>500 && CO<=1000){analogWrite(turbina,175);}
else if(CO>1000 && CO<=1500){analogWrite(turbina,200);}

```

```

else if(CO>1500){analogWrite(turbina,255);}

//CONDICIONES PARA O3
else if(O3>130 && O3<=240){analogWrite(turbina,150);}
else if(O3>240 && O3<=380){analogWrite(turbina,175);}
else if(O3>380 && O3<=1000){analogWrite(turbina,200);}
else if(O3>1000){analogWrite(turbina,255);}

//CONDICIONES PARA PM10
else if(PM10>50 && PM10<=100){analogWrite(turbina,150);}
else if(PM10>100 && PM10<=150){analogWrite(turbina,175);}
else if(PM10>150 && PM10<=1000){analogWrite(turbina,200);}
else if(PM10>1000){analogWrite(turbina,255);}

//CONDICIONES PARA PM2.5
else if(PM25>25 && PM25<=50){analogWrite(turbina,150);}
else if(PM25>50 && PM25<=75){analogWrite(turbina,175);}
else if(PM25>75 && PM25<=1000){analogWrite(turbina,200);}
else if(PM25>1000){analogWrite(turbina,255);}
else{analogWrite(turbina,0);}
}

//*****
*****

// SISTEMA MANUAL DE TURBINA
else if(valorc0==1){

if(valorc100==1){
  analogWrite(turbina,255);
}
else if(valorc75==1){
  analogWrite(turbina,200);
}
}

```

```

else if(valorc50==1){
  analogWrite(turbina,175);
}

else if(valorc25==1){
  analogWrite(turbina,150);
}

else{
  analogWrite(turbina,0);
}
}

//*****
*****

else{
  analogWrite(turbina,0);} }

```

4.16. Programación ESP8266

```

#include "Ubidots.h" //Librería Ubidots

#include <Separador.h> // Librería separador de cadena de caracteres

const      char*      UBIDOTS_TOKEN      =      "BBFF-
1Ndf6vPrIrZP548XYMrvDjw6wRU0Op"; // Colocar TOKEN de Cuenta Ubidots

const char* WIFI_SSID = "ALEX MG"; // Colocar Nombre de la red Wifi

const char* WIFI_PASS = "VIDAkkfl1969#"; // Colocar Contraseña de la red
Wifi

Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN, UBI_TCP); // Comunicación TCP con la
Plataforma Ubidots

Separador s;

void setup() {

Serial.begin(9600); // Habilitamos el puerto de comunicación serial

```



```

    ubidots.wifiConnect(WIFI_SSID, WIFI_PASS); // Conexión wifi para el módulo
ESP 8266

}

void loop() {

// Condicional que habilita la comunicación entre Arduino Mega y ESP 8266

if(Serial.available()){

    String datos_recibidos = Serial.readString(); // Variable donde se guardará la
cadena de caracteres cada vez que el Arduino Mega envíe los datos

    // Separamos los datos recibidos en el ESP 8266 que se van formando en una matriz
de acuerdo al orden que se va recestando.

    String CO2 = s.separa(datos_recibidos, ',', 1);

    String NO2 = s.separa(datos_recibidos, ',', 2);

    String NH3 = s.separa(datos_recibidos, ',', 3);

    String CO = s.separa(datos_recibidos, ',', 4);

    String O3 = s.separa(datos_recibidos, ',', 5);

    String PM25 = s.separa(datos_recibidos, ',', 6);

    String PM10 = s.separa(datos_recibidos, ',', 7);

    String temperatura = s.separa(datos_recibidos, ',', 8);

    String humedad = s.separa(datos_recibidos, ',', 9);

// Conversión de datos recibidos de formato String a formato Float

float valor1_CO2=CO2.toFloat();

float valor2_NO2=NO2.toFloat();

float valor3_NH3=NH3.toFloat();

float valor4_CO=CO.toFloat();

float valor5_O3=O3.toFloat();

float valor6_PM25=PM25.toFloat();

```

```

float valor7_PM10=PM10.toFloat();

float valor8_temperatura=temperatura.toFloat();

float valor9_humedad=humedad.toFloat();

// Datos que se muestran en el monitor Serial

/*Serial.println(valor1_CO2);

Serial.println(valor2_NO2);

Serial.println(valor3_NH3);

Serial.println(valor4_CO);

Serial.println(valor5_O3);

Serial.println(valor6_PM25);

Serial.println(valor7_PM10);

Serial.println(valor8_temperatura);

Serial.println(valor9_humedad);*/

// Variables que se envían y agregan a la plataforma Ubidots

ubidots.add("Dióxido de Carbono(CO2)", valor1_CO2);// Change for your variable
name

ubidots.add("Dióxido de Nitrógeno(NO2)", valor2_NO2);// Change for your
variable name

ubidots.add("Amoniac(NH3)", valor3_NH3);// Change for your variable name

ubidots.add("Monóxido de Carbono(CO)", valor4_CO);// Change for your variable
name

ubidots.add("Ozono(O3)", valor5_O3);// Change for your variable name

ubidots.add("PM 2.5", valor6_PM25);// Change for your variable name

ubidots.add("PM 10", valor7_PM10);// Change for your variable name

ubidots.add("Temperatura", valor8_temperatura);// Change for your variable name

ubidots.add("Humedad", valor9_humedad);// Change for your variable name

```

```
// Condicional para saber si el módulo se esté comunicando y enviando la data
bool bufferSent = false;

bufferSent = ubidots.send(); // Will send data to a device label that matches the
device Id

if (bufferSent) {

// Do something if values were sent properly

Serial.println("Values sent by the device");

}

} }
```

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Medición de gas Dióxido de carbono en el módulo y en la plataforma Ubidots

Para realizar esta prueba con el prototipo se tiene en cuenta que el Dióxido de Carbono es causado por distintos fenómenos naturales biogeoquímicos y geotérmicos, incluyendo la misma respiración de los seres vivos y su descomposición. El Dióxido de Carbono también se genera mediante las actividades de las personas en las industrias, la quema de combustibles fósiles, gas natural, gas butano, gas propano y carbón.

En esta prueba se tiene en cuenta la Tabla I que se encuentra en el punto 2.15 de la sección del Marco Teórico, la cual contiene los estados de calidad del aire permitidos con respecto a la alta o baja concentración de PPM del gas Dióxido de Carbono.

Se muestra la emisión del gas Dióxido de Carbono (CO₂) que se produce por la combustión del gas butano que contiene una fosforera. Una vez el sensor MQ-135 detecte el Dióxido de Carbono se puede visualizar en la pantalla HMI Nextion del módulo, en el gauge del lado izquierdo.



Figura 90. Medición del Dióxido de Carbono (CO₂) con el Sensor MQ-135.



Figura 91. Visualización de datos del Dióxido de Carbono (CO2) en la pantalla HMI Nextion

Se puede visualizar mediante la plataforma Ubidots la recepción de varias lecturas del sensor MQ-135 cuando detecta la presencia de Dióxido de Carbono (CO2) en el ambiente, además se puede visualizar la medición de Dióxido de Carbono en un indicador gráfico en la plataforma Ubidots.

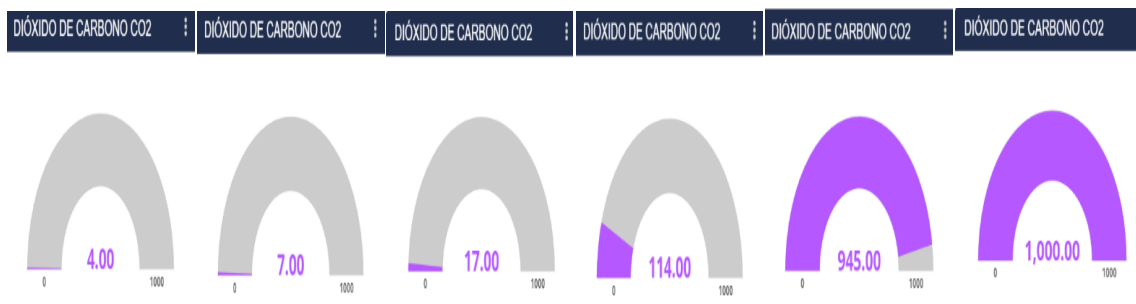


Figura 92. Visualización de datos del Dióxido de Carbono (CO2) en la plataforma Ubidots.



Figura 93. Gráfica del Dióxido de Carbono (CO2) en la plataforma Ubidots.

Se muestra la comparación de la curva de sensibilidad del Dióxido de Carbono original de la hoja técnica del sensor MQ-135 que se encuentra del lado izquierdo y la curva característica del Dióxido de Carbono que se obtiene mediante la calibración del sensor para obtener la función o ecuación de esta y que se encuentra del lado derecho.

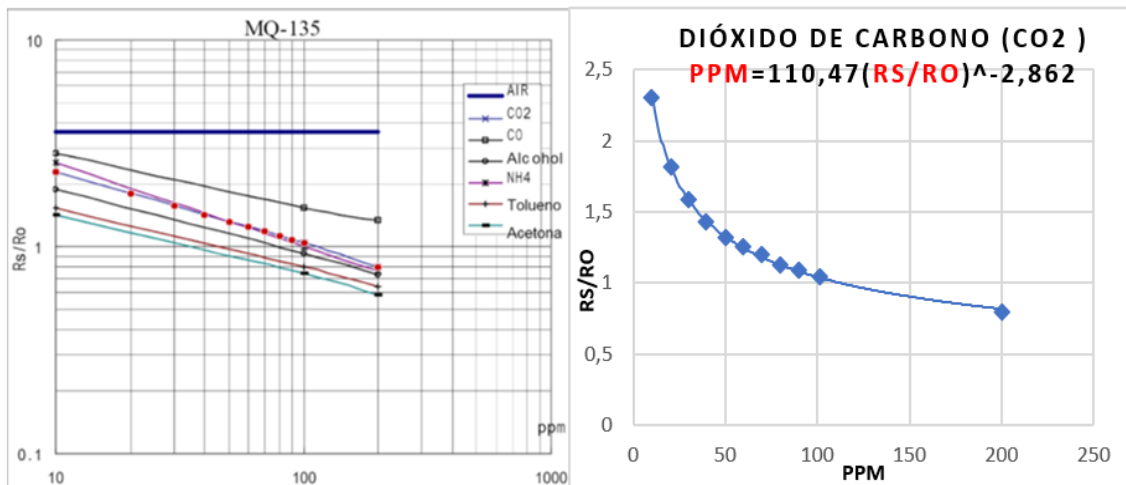


Figura 94. Comparación de las curvas de sensibilidad del Dióxido de Carbono.

La Tabla VIII se desarrolló en el software Excel donde se muestra los valores calculados de PPM Ec (18), el error Ec (19), el error porcentual Ec (20) y el error promedio Ec (21) del Dióxido de Carbono.

Donde:

$$\text{PPM Calculado (CO2)} = 110,47 \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^{-2,862} \quad \text{Ec (18)}$$

$$\text{Error (CO2)} = \text{PPM Calculado (CO2)} - \text{PPM} \quad \text{Ec (19)}$$

$$\text{Error Porcentual (CO2)} = \frac{\text{Error (CO2)}}{\text{PPM}} \quad \text{Ec (20)}$$

$$\text{Error Promedio (CO2)} = \text{Promedio}(\text{Error Porcentual (CO2)}) \quad \text{Ec (21)}$$

Tabla VIII

Tabla de datos calculados para CO2.

Dióxido de Carbono		PPM Calculado	Error	Error Porcentual
Rs/Ro	PPM			
X	Y			
2,30471578	10	10,1258952	0,12589517	0,01258952
1,81058268	20,166072	20,200783	0,03471094	0,00172125
1,58198355	30,2275499	29,7254427	0,50210714	0,01661091
1,42822162	39,916944	39,8308284	0,08611566	0,00215737
1,32143793	50,3547746	49,7517663	0,60300834	0,0119752
1,25301266	60,0437009	57,9289728	2,11472818	0,03521982
1,1929999	69,8545177	66,6652498	3,1892679	0,04565586
1,13122527	80,4147906	77,6223585	2,79243217	0,03472536
1,0814596	90,0013627	88,2890568	1,71230599	0,01902533
1,04664707	101,085944	96,9562923	4,12965171	0,04085288
0,79903807	200,090625	209,940514	9,84988895	0,04922714
		Error Promedio		0,02452369

Para finalizar se observa que los datos de medición obtenidos mediante la Ec (18) se asemejan a los datos de medición reales de la curva de sensibilidad del Dióxido de Carbono, mostrando en los datos obtenidos un mínimo margen de error en las lecturas del sensor calibrado.

5.2. Medición de gas Monóxido de carbono en el módulo y en la plataforma Ubidots

Para realizar esta prueba con el prototipo se tiene en cuenta que el Monóxido de Carbono se encuentra en los gases que son producidos por calentadores, calderas, cocinas, lámparas, electrodomésticos en mal estado, vehículos, o la quema de madera o carbón.

En esta prueba se tiene en cuenta la Tabla III que se encuentra en el punto 2.17 de la sección del Marco Teórico, la cual contiene los estados de calidad del aire permitidos con respecto a la alta o baja concentración de PPM del gas Monóxido de Carbono.

Se muestra la emisión del gas Monóxido de Carbono (CO) que se produce por la combustión de madera, al quemarse emite un humo inodoro e incoloro. Una vez el sensor MQ-7 detecte el Monóxido de Carbono se podrá visualizar en la pantalla HMI Nextion del módulo.

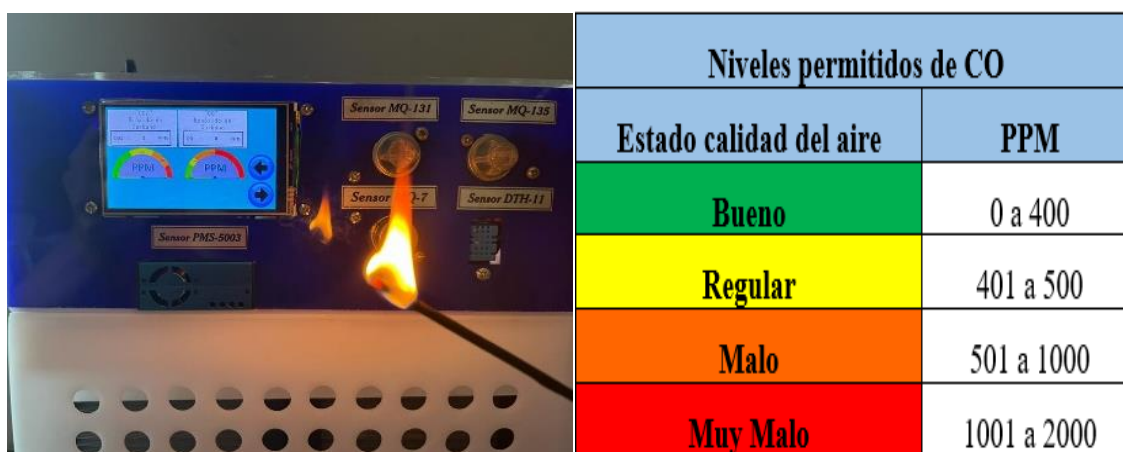


Figura 95. Medición del Monóxido de carbono (CO) con el Sensor MQ-7.



Figura 96. Visualización de datos del Monóxido de Carbono (CO) en la pantalla HMI Nextion.

Se puede visualizar mediante la plataforma Ubidots la recepción de varias lecturas del sensor MQ-7 cuando detecta la presencia de Monóxido de Carbono (CO) en el ambiente, además se puede visualizar la medición de Monóxido de Carbono en un indicador gráfico en la plataforma Ubidots.

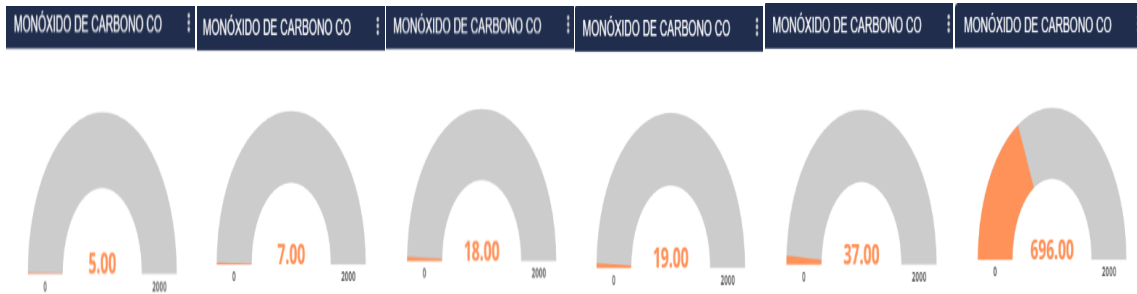


Figura 97. Visualización de datos del Monóxido de Carbono (CO) en la plataforma Ubidots.

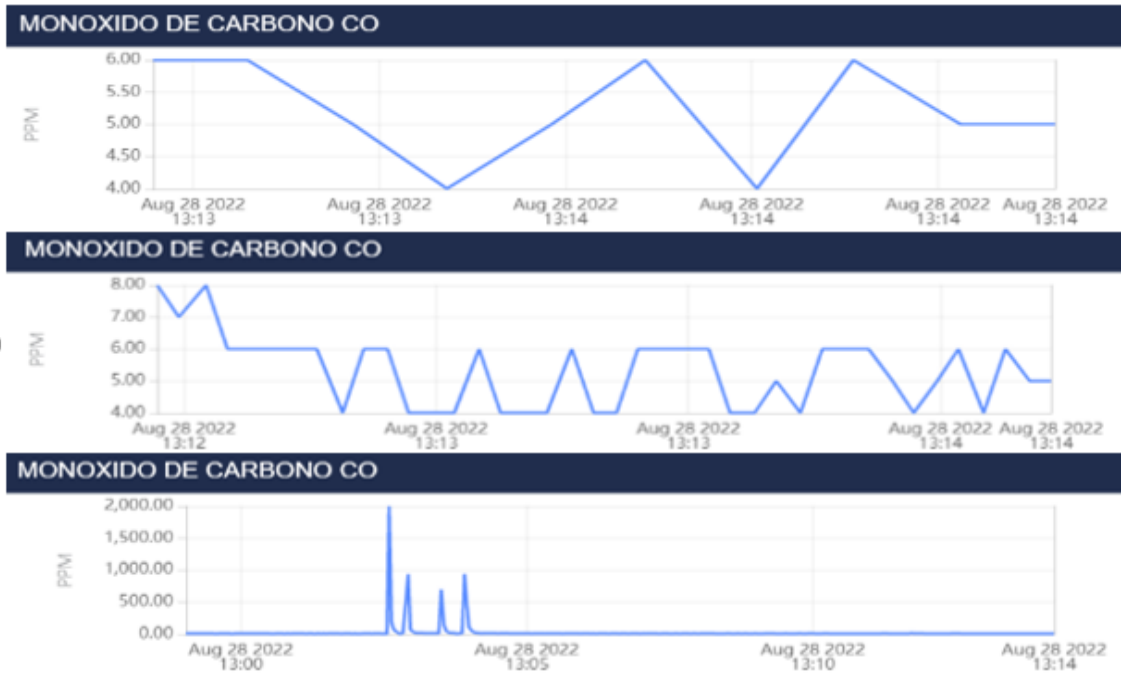


Figura 98. Gráfica del Monóxido de Carbono (CO) en la plataforma Ubidots.

Se muestra la comparación de la curva de sensibilidad del Monóxido de Carbono original de la hoja técnica del sensor MQ-7 que se encuentra del lado izquierdo y la curva de sensibilidad del Monóxido de Carbono que se obtiene mediante la calibración del sensor para obtener la función o ecuación de esta y que se encuentra del lado derecho.

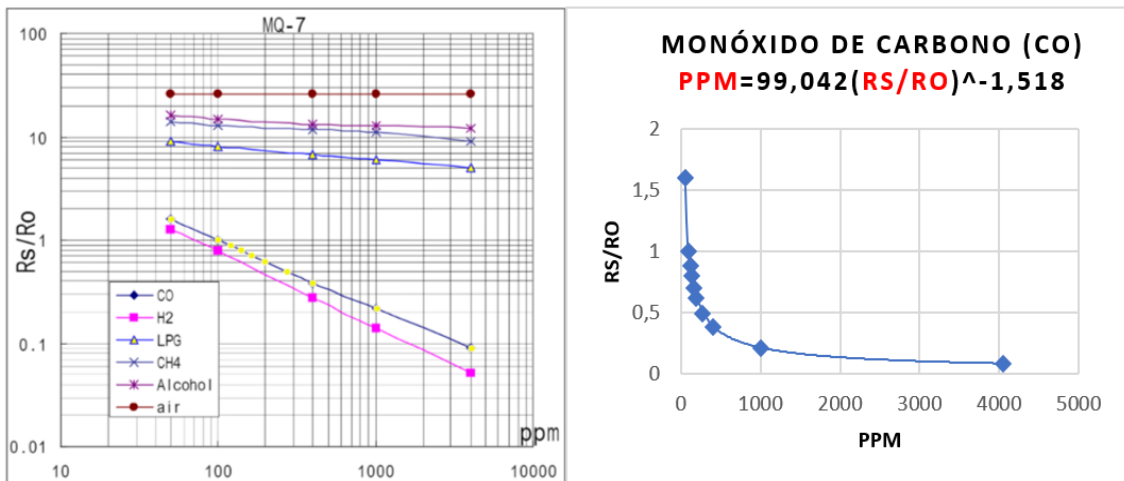


Figura 99. Comparación de las curvas de sensibilidad del Monóxido de Carbono.

La Tabla IX se desarrolló en el software Excel donde se muestra los valores calculados de PPM Ec (22), el error Ec (23), el error porcentual Ec (24) y el error promedio Ec (25) del Monóxido de Carbono.

Donde:

$$\text{PPM Calculado (CO)} = 99,042 \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^{-1,518} \quad \text{Ec (22)}$$

$$\text{Error (CO)} = \text{PPM Calculado (CO)} - \text{PPM} \quad \text{Ec (23)}$$

$$\text{Error Porcentual (CO)} = \frac{\text{Error (CO)}}{\text{PPM}} \quad \text{Ec (24)}$$

$$\text{Error Promedio (CO)} = \text{Promedio(Error Porcentual (CO))} \quad \text{Ec (25)}$$

Tabla IX

Tabla de datos calculados para CO.

Monóxido de Carbono		PPM Calculado	Error	Error Porcentual
Rs/Ro	PPM			
X	Y			
1,60605834	50,917206	48,2473787	2,66982728	0,052434678
1	97,8866717	99,042	1,15532828	0,011802713
0,88353062	119,589826	119,523969	0,06585731	0,000550693
0,79407389	139,15016	140,549896	1,39973613	0,010059177
0,70609667	161,909817	167,974595	6,06477734	0,037457749
0,61460384	196,725043	207,363245	10,6382017	0,054076499
0,49117678	272,168019	291,420685	19,2526661	0,070738164
0,38016505	396,044841	429,953637	33,9087955	0,085618576
0,08901575	4041,25533	3895,19066	146,064673	0,036143391
0,21590393	1011,60864	1014,87345	3,26480702	0,003227342
		Error Promedio		0,036210898

Para finalizar se observa que los datos de medición obtenidos mediante la Ec (22) se asemejan a los datos de medición reales de la curva de sensibilidad del Monóxido de Carbono, mostrando en los datos obtenidos un mínimo margen de error en las lecturas del sensor calibrado.

5.3. Medición de gas Amoníaco en el módulo y en la plataforma Ubidots

Para realizar esta prueba con el prototipo se tiene en cuenta que el Amoníaco se produce de manera natural mediante la descomposición de la materia orgánica y también es generado mediante la manufactura en la industria como el fertilizante, medicamentos y todo tipo de productos de limpieza.

En esta prueba se tiene en cuenta la Tabla IV que se encuentra en el punto 2.18 de la sección del Marco Teórico, la cual contiene los estados de calidad del aire permitidos con respecto a la alta o baja concentración de PPM del gas Amoníaco.

Se muestra la emisión del gas Amoníaco (NH_3) que se produce por un compuesto químico de limpieza como es el Amonio Cuaternario, emitiendo un gas incoloro con un olor característico. Una vez el sensor MQ-135 detecte el Amoníaco se podrá visualizar en la pantalla HMI Nextion del módulo, en el gauge del lado izquierdo.



Figura 100. Medición del Amoníaco (NH_3) con el Sensor MQ-135.



Figura 101. Visualización de datos del Amoníaco (NH3) en la pantalla HMI Nextion.

Se puede visualizar mediante la plataforma Ubidots la recepción de varias lecturas del sensor MQ-135 cuando detecta la presencia de Amoníaco (NH3) en el ambiente, además se puede visualizar la medición de Amoníaco en un indicador gráfico en la plataforma Ubidots.



Figura 102. Visualización de datos del Amoníaco (NH3) en la plataforma Ubidots.

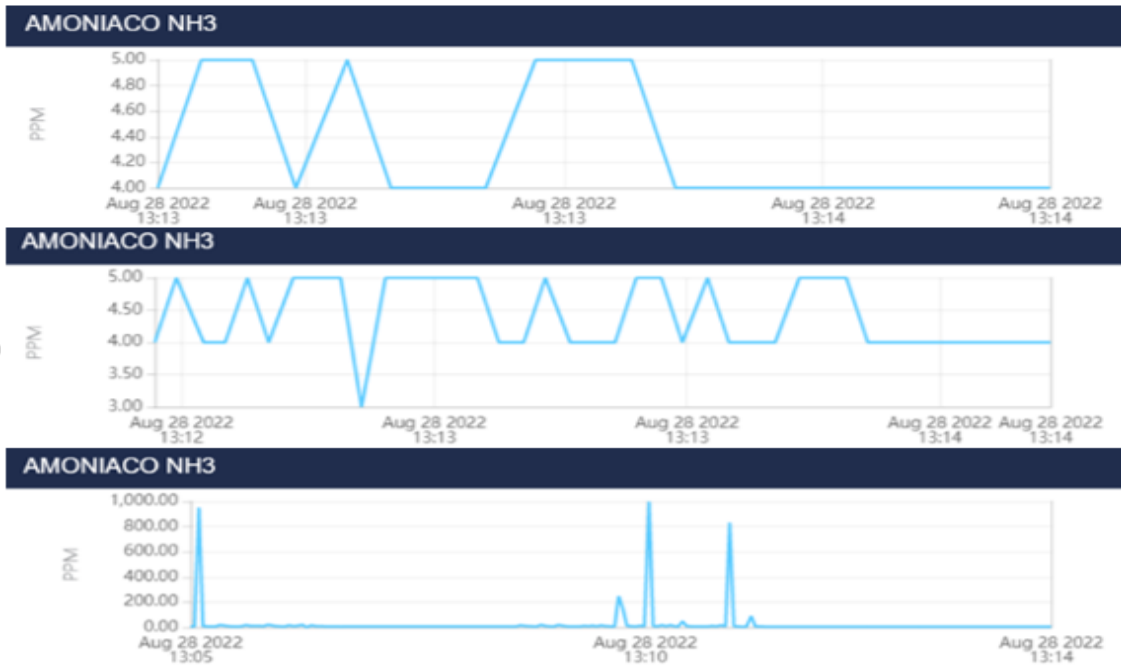


Figura 103. Gráfica del Amoníaco (NH3) en la plataforma Ubidots.

Se muestra la comparación de la curva de sensibilidad del Amoníaco original de la hoja técnica del sensor MQ-135 que se encuentra del lado izquierdo y la curva de sensibilidad del Amoníaco que se obtiene mediante la calibración del sensor para obtener la función o ecuación de esta y que se encuentra del lado derecho.

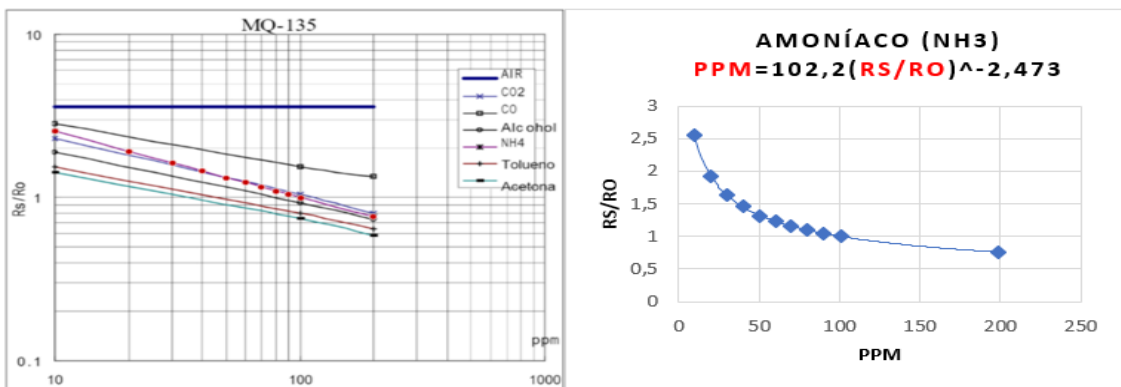


Figura 104. Comparación de las curvas de sensibilidad del Amoníaco.

La Tabla X se desarrolló en el software Excel donde se muestra los valores calculados de PPM Ec (26), el error Ec (27), el error porcentual Ec (28) y el error promedio Ec (29) del Amoníaco.

Donde:

$$\text{PPM Calculado (NH}_3\text{)} = 102,2 \left(\frac{R_s}{R_o}\right)^{-2,473} \quad \text{Ec (26)}$$

$$\text{Error (NH}_3\text{)} = \text{PPM Calculado (NH}_3\text{)} - \text{PPM} \quad \text{Ec (27)}$$

$$\text{Error Porcentual (NH}_3\text{)} = \frac{\text{Error (NH}_3\text{)}}{\text{PPM}} \quad \text{Ec (28)}$$

$$\text{Error Promedio (NH}_3\text{)} = \text{Promedio(Error Porcentual (NH}_3\text{))} \quad \text{Ec (29)}$$

Tabla X

Tabla de datos calculados para NH₃.

Amoníaco		PPM Calculado	Error	Error Porcentual
Rs/Ro	PPM			
Y	X			
2,55269048	10	10,0680288	0,06802882	0,00680288
1,91323341	20,0256814	20,5418116	0,51613021	0,02577342
1,62849478	30,155399	30,5987157	0,44331664	0,01470107
1,45849262	39,8107171	40,1897885	0,37907146	0,00952184
1,31736263	49,9358789	51,691554	1,75567503	0,03515859
1,24143119	59,948425	59,8659912	0,08243382	0,00137508
1,15999662	69,3856788	70,8026353	1,4169565	0,02042145
1,09313559	79,7236734	81,9992749	2,27560141	0,02854361
1,04775038	89,6150502	91,065377	1,45032681	0,01618396
0,99576849	100,733658	103,277383	2,5437252	0,02525199
0,76555765	198,798315	197,867081	0,93123337	0,00468431
		Error Promedio		0,01712893

Para finalizar se observa que los datos de medición obtenidos mediante la Ec (26) se asemejan a los datos de medición reales de la curva de sensibilidad del Amoníaco, mostrando en los datos obtenidos un mínimo margen de error en las lecturas del sensor calibrado.

5.4. Medición de gas Dióxido de Nitrógeno en el módulo y en la plataforma Ubidots

Para realizar esta prueba con el prototipo se tiene en cuenta que el Dióxido de Nitrógeno es un contaminante en la atmosfera que se genera por las emisiones de gases tóxicos en las industrias, el proceso de combustión en los motores de los vehículos, calefacciones en mal estado.

En esta prueba se tiene en cuenta la Tabla II que se encuentra en el punto 2.16 de la sección del Marco Teórico, la cual contiene los estados de calidad del aire permitidos con respecto a la alta o baja concentración de PPM del gas Dióxido de Nitrógeno.

Se muestra la emisión del gas Dióxido de Nitrógeno (NO_2) que se produce por un compuesto químico como es la mezcla entre el cobre y ácido nítrico, emitiendo un gas de color marrón-amarillento, simulando a los gases que son emitidos por los vehículos motorizados por la combustión de gasolina o diésel. Una vez el sensor MQ-135 detecte el Dióxido de Nitrógeno se podrá visualizar en la pantalla HMI Nextion del módulo, en el gauge del lado izquierdo.



Niveles permitidos de NO_2	
Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 100
Regular	101 a 200
Malo	201 a 400
Muy Malo	401 a 1000

Figura 105. Medición del Dióxido de Nitrógeno (NO_2) con el Sensor MQ-135.



Figura 106. Visualización de datos del Dióxido de Nitrógeno (NO2) en la pantalla HMI Nextion.

Se puede visualizar mediante la plataforma Ubidots la recepción de varias lecturas del sensor MQ-135 cuando detecta la presencia de Dióxido de Nitrógeno (NO2) en el ambiente, además se puede visualizar la medición de Dióxido de Nitrógeno en un indicador gráfico en la plataforma Ubidots.



Figura 107. Visualización de datos del Dióxido de Nitrógeno (NO2) en la plataforma Ubidots.

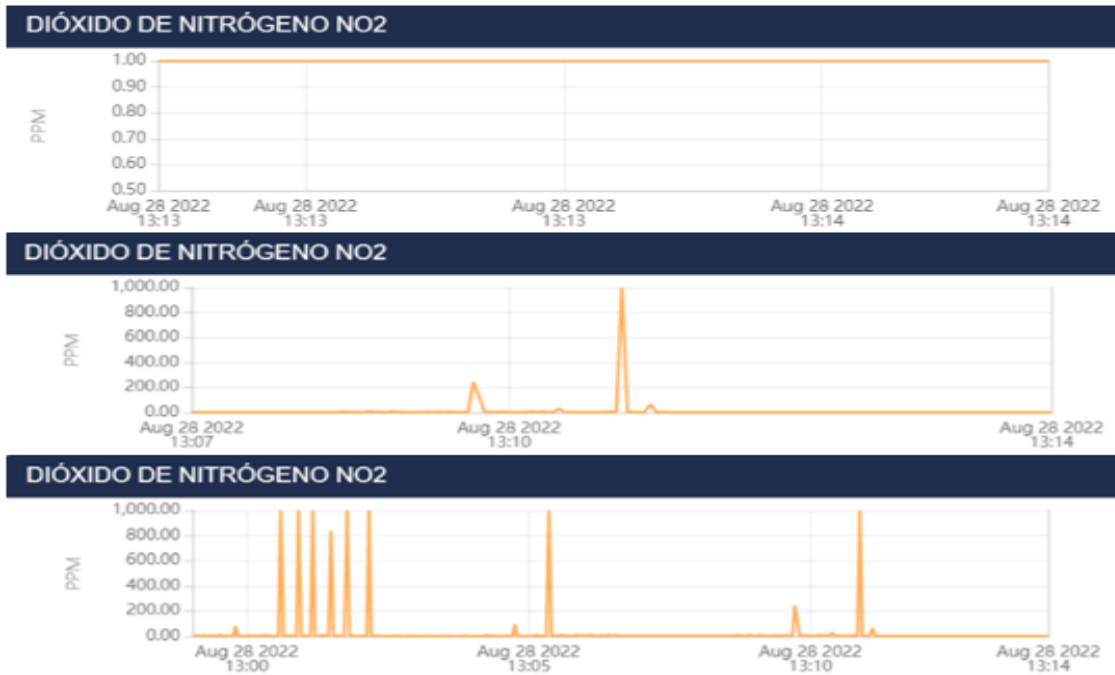


Figura 108. Grafica de Dióxido de Nitrógeno (NO2) en la plataforma Ubidots.

Se muestra la comparación de la curva de sensibilidad del Amoníaco original de la hoja técnica del sensor MQ-135 que se encuentra del lado izquierdo y la curva de sensibilidad del Amoníaco que se obtiene mediante la calibración del sensor para obtener la función o ecuación de esta y que se encuentra del lado derecho.

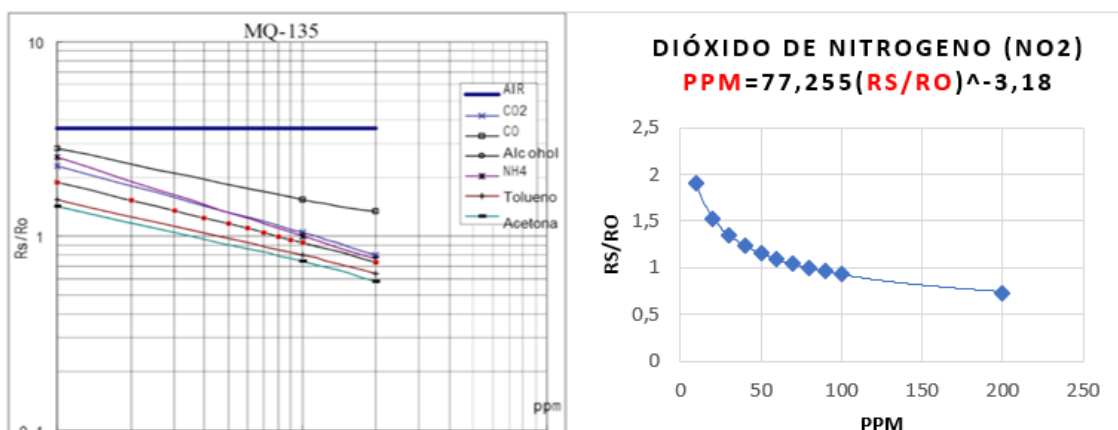


Figura 109. Comparación de las curvas de sensibilidad del Dióxido de Nitrógeno.

La Tabla XI se desarrolló en el software Excel donde se muestran los valores calculados de PPM Ec (30), el error Ec (31), el error porcentual Ec (32) y el error promedio Ec (33) del Dióxido de Nitrógeno.

Donde:

$$\text{PPM Calculado (NO2)} = 77,255 \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^{-3,18} \quad \text{Ec (30)}$$

$$\text{Error (NO2)} = \text{PPM Calculado (NO2)} - \text{PPM} \quad \text{Ec (31)}$$

$$\text{Error Porcentual (NO2)} = \frac{\text{Error (NO2)}}{\text{PPM}} \quad \text{Ec (32)}$$

$$\text{Error Promedio (NO2)} = \text{Promedio(Error Porcentual (NO2))} \quad \text{Ec (33)}$$

Tabla XI

Tabla de datos calculados para NO2.

Dióxido de Nitrógeno		PPM Calculado	Error	Error Porcentual
Rs/Ro	PPM			
X	Y			
1,89886445	10	10,0534655	0,05346552	0,00534655
1,5180893	20,0867675	20,4833564	0,39658887	0,01974379
1,34940151	29,9966192	29,7904875	0,20613177	0,00687183
1,24260158	39,6574253	38,721409	0,93601634	0,02360255
1,15781247	50,0882029	48,4793787	1,60882421	0,03211982
1,09803951	59,8268234	57,3801217	2,44670167	0,0408964
1,04750358	69,6680267	66,6548968	3,01312992	0,04324982
0,99342539	79,9019391	78,8926384	1,00930075	0,01263174
0,95893334	89,7971983	88,2753457	1,5218526	0,01694766
0,92563886	100,406925	98,773939	1,63298634	0,01626368
0,73135683	199,242837	208,927376	9,68453985	0,04860672
		Error Promedio		0,02420732

Para finalizar se observa que los datos de medición obtenidos mediante la Ec (30) se asemejan a los datos de medición reales de la curva de sensibilidad del Dióxido de Nitrógeno, mostrando en los datos obtenidos un mínimo margen de error en las lecturas del sensor calibrado.

5.5. Medición de gas Ozono en el módulo y en la plataforma Ubidots

Para realizar esta prueba con el prototipo se tiene en cuenta que el Ozono es un contaminante secundario que se produce por las reacciones de la luz solar y la radiación ultravioleta con los óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre que se encuentran contaminando la atmosfera.

En esta prueba se tiene en cuenta la Tabla V que se encuentra en el punto 2.19 de la sección del Marco Teórico, la cual contiene los estados de calidad del aire permitidos con respecto a la alta o baja concentración de PPM del gas Ozono.

Se muestra la emisión del gas Ozono (O₃) que se produce en el interior del mismo ambiente, siendo un gas incoloro e inestable. Una vez el sensor MQ-131 detecte el Ozono se podrá visualizar en la pantalla HMI Nextion del módulo, en el gauge del lado derecho.

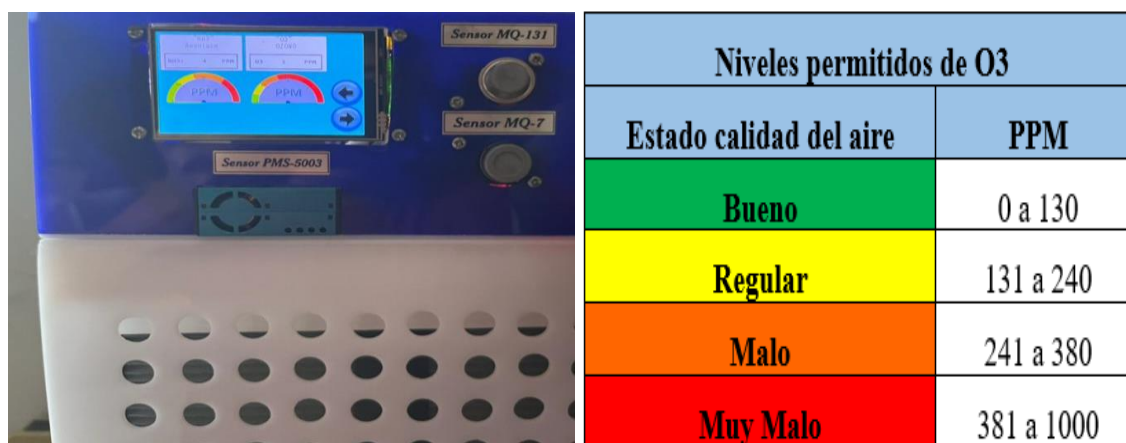


Figura 110. Medición del Ozono (O₃) con el Sensor MQ-131.



Figura 111. Visualización de datos del Ozono (O3) en la pantalla HMI Nextion.

Se puede visualizar mediante la plataforma Ubidots la recepción de varias lecturas del sensor MQ-131 cuando detecta la presencia de Ozono (O3) en el ambiente, además se puede visualizar la medición de Ozono en un indicador gráfico en la plataforma Ubidots.



Figura 112. Visualización de datos de Ozono (O3) en la plataforma Ubidots.

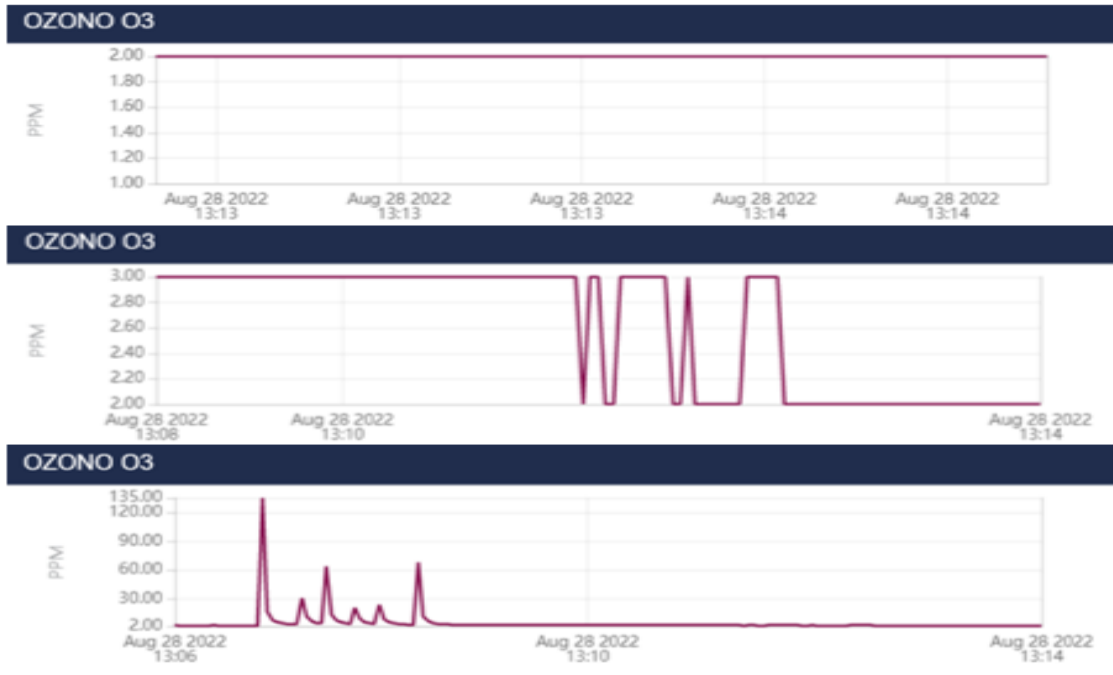


Figura 113. Grafica de Ozono (O3) en la plataforma Ubidots.

Se muestra la comparación de la curva de sensibilidad del Ozono original de la hoja técnica del sensor MQ-131 que se encuentra del lado izquierdo y la curva de sensibilidad del Ozono que se obtiene mediante la calibración del sensor para obtener la función o ecuación de esta y que se encuentra del lado derecho.

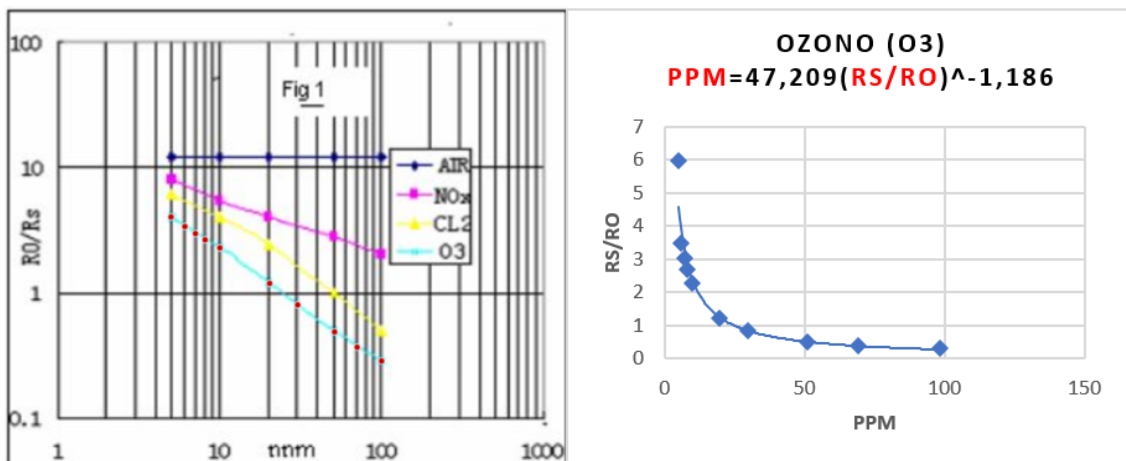


Figura 114. Comparación de las curvas de sensibilidad del Ozono.

La Tabla XII se desarrolló en el software Excel donde se muestran los valores calculados de PPM Ec (34), el error Ec (35), el error porcentual Ec (36) y el error promedio Ec (37) del Ozono.

Donde:

$$\text{PPM Calculado (O3)} = 47,209 \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^{-1,186} \quad \text{Ec (34)}$$

$$\text{Error (O3)} = \text{PPM Calculado (O3)} - \text{PPM} \quad \text{Ec (35)}$$

$$\text{Error Porcentual (O3)} = \frac{\text{Error (O3)}}{\text{PPM}} \quad \text{Ec (36)}$$

$$\text{Error Promedio (O3)} = \text{Promedio}(\text{Error Porcentual (O3)}) \quad \text{Ec (37)}$$

Tabla XII

Tabla de datos calculados para O3.

Ozono		PPM Calculado	Error	Error Porcentual
Rs/Ro	PPM			
X	Y			
5,97035287	4,95771363	5,6713807	0,71366707	0,14395085
3,47944061	6,02825003	10,7595627	4,73131263	0,78485673
3,03461866	6,99974094	12,6546259	5,65488493	0,8078706
2,7029076	8,00095958	14,5168704	6,5159108	0,81439117
2,28392841	9,97172956	17,7266787	7,75494911	0,77769348
1,21481273	19,7652194	37,4797541	17,7145347	0,89624781
0,82310586	29,5176628	59,4695086	29,9518458	1,01470926
0,49154461	50,7852629	109,6052	58,8199368	1,15820877
0,37783621	69,0135593	149,741702	80,7281427	1,16974321
0,29040184	98,315717	204,600906	106,285189	1,08106
		Error Promedio		0,86487319


Para finalizar se observa que los datos de medición obtenidos mediante la Ec (34) se asemejan a los datos de medición reales de la curva de sensibilidad del Ozono, mostrando en los datos obtenidos un mínimo margen de error en las lecturas del sensor calibrado.

5.6. Medición de PM 10 Y PM 2.5 en el módulo y en la plataforma Ubidots

Para realizar esta prueba con el prototipo se tiene en cuenta que el material particulado PM10 y PM2.5 son contaminantes que se encuentran en la atmosfera. Este material particulado se produce mediante la combustión del carbón, además se encuentran en las partículas de polvo y humo.

En esta prueba se tiene en cuenta la Tabla VI y la Tabla VII que se encuentran en el punto 2.20 de la sección del Marco Teórico, la cual contiene los estados de calidad del aire permitidos con respecto a la alta o baja concentración de PPM del material particulado PM10 y PM2.5.

Se muestra la emisión del material particulado PM 10 y PM 2.5 que se produce por la combustión de papel, al quemarse emite un humo que resulta perjudicial para el sistema respiratorio de las personas. Una vez el sensor PMS 5003 detecte el material particulado PM 10 y PM 2.5 se podrá visualizar en la pantalla HMI Nextion del módulo, en el gauge del lado izquierdo.



Niveles permitidos de PM10		Niveles permitidos de PM2.5	
Estado calidad del aire	PPM	Estado calidad del aire	PPM
Bueno	0 a 50	Bueno	0 a 25
Regular	51 a 100	Regular	26 a 50
Malo	101 a 150	Malo	51 a 75
Muy Malo	151 a 1000	Muy Malo	76 a 1000

Figura 115. Medición del material particulado PM 10 y PM 2.5 con el Sensor PMS 5003.



Figura 116. Visualización de datos del material particulado PM 10 y PM 2.5 en la pantalla HMI Nextion.

Se puede visualizar mediante la plataforma Ubidots la recepción de varias lecturas del sensor PMS 5003 cuando detecta la presencia del material particulado PM10 y PM 2.5 en el ambiente, además se puede visualizar la medición de PM10 y la medición de PM2.5 en un indicador gráfico en la plataforma Ubidots.

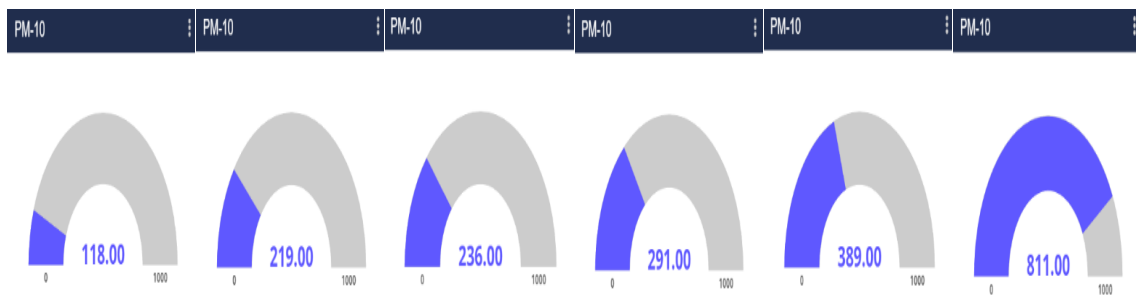


Figura 117. Visualización de datos del PM10 en la plataforma Ubidots.

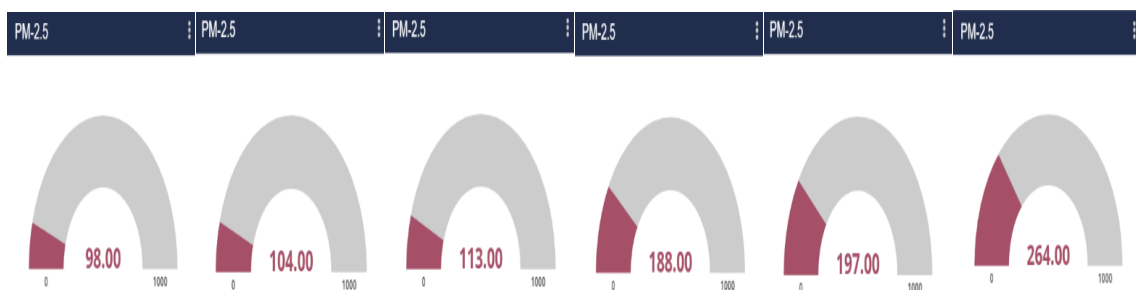


Figura 118. Visualización de datos del PM2.5 en la plataforma Ubidots.

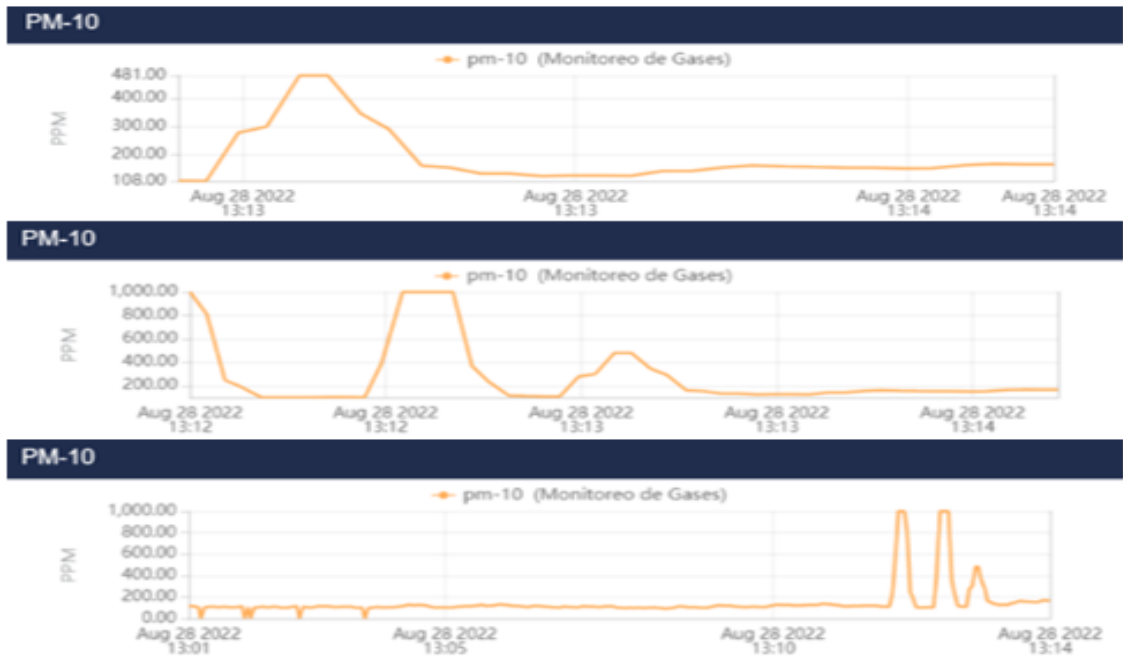


Figura 119. Gráfica del PM10 en la plataforma Ubidots.

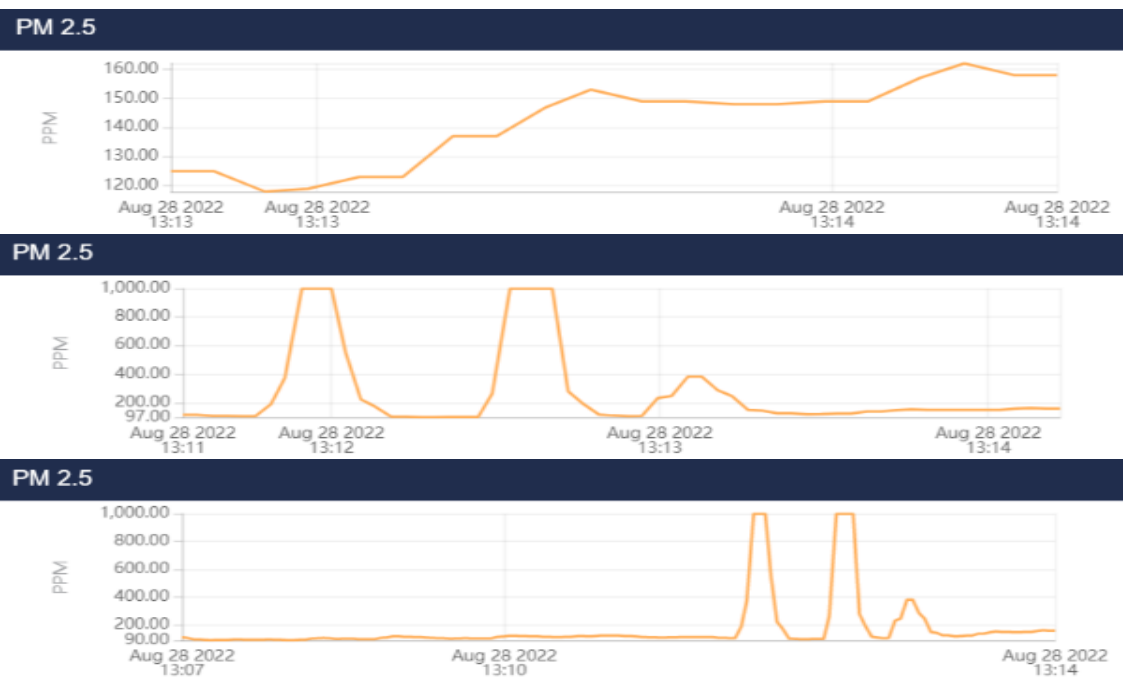


Figura 120. Grafica de PM2.5 en la plataforma Ubidots.

5.7. Medición de Temperatura y Humedad en el módulo y en la plataforma Ubidots

Se muestra los valores de Temperatura y Humedad presentes en el ambiente de estudio en tiempo real, dichos valores son captados por el sensor DHT11 y se podrán visualizar en la pantalla HMI Nextion del módulo

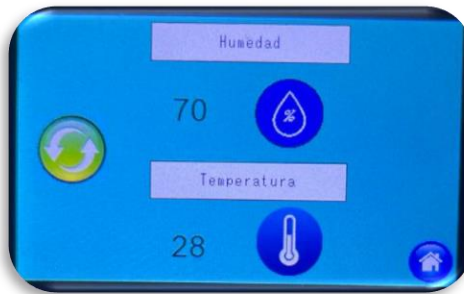


Figura 121. Visualización de datos de Temperatura y Humedad en la pantalla HMI Nextion.

Se puede visualizar mediante la plataforma Ubidots la recepción de datos del sensor DHT11 cuando detecta la presencia de Temperatura y Humedad en el ambiente.



Figura 122. Visualización de datos de Temperatura y Humedad en la plataforma Ubidots.

5.8. Representación del Análisis de estudio en la plataforma Ubidots mediante Gráfica de Barras y Gráfica Circular

En esta sección se realiza cuatro tipos de análisis para observar el monitoreo de dichos gases en tiempo real, en los cuales se basa este proyecto y así determinar qué tipo de gas prevalece en el ambiente de estudio.

Se puede visualizar el primer análisis de estudio que se realiza en la plataforma Ubidots, donde se puede observar que el material particulado PM10 y PM 2.5 prevalecen, mientras los demás gases como el Amoniac, Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Ozono mantienen un nivel muy bajo.

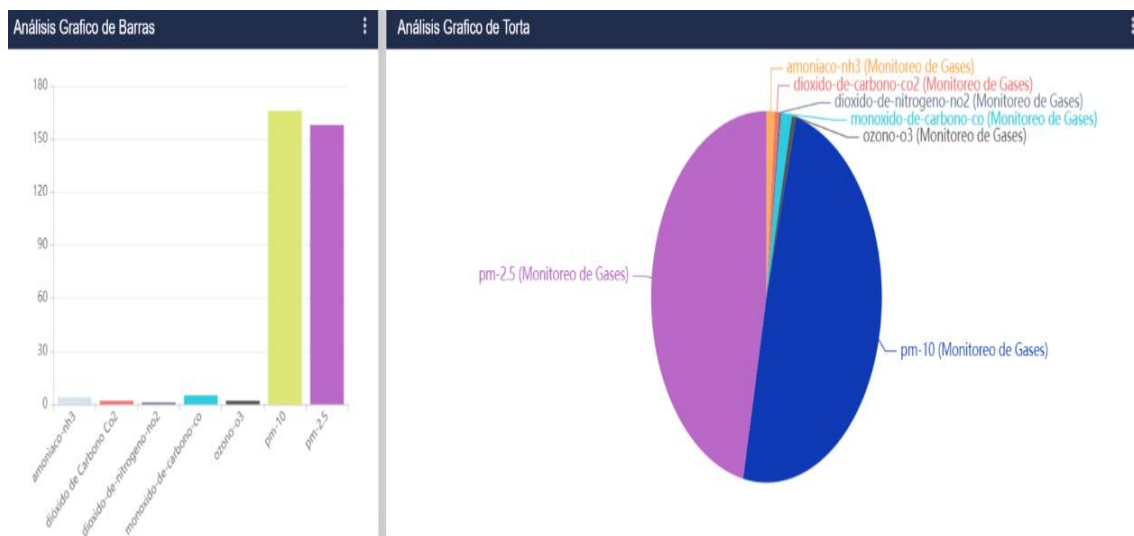


Figura 123. Primer análisis en la plataforma Ubidots.

Se puede visualizar el segundo análisis de estudio que se realiza en la plataforma Ubidots, donde se puede observar que el material particulado PM10 y PM2.5 prevalecen, además se observa un leve incremento en la sección del Monóxido de Carbono, mientras los demás gases como el Amoniac, Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno y Ozono mantienen un nivel muy bajo.

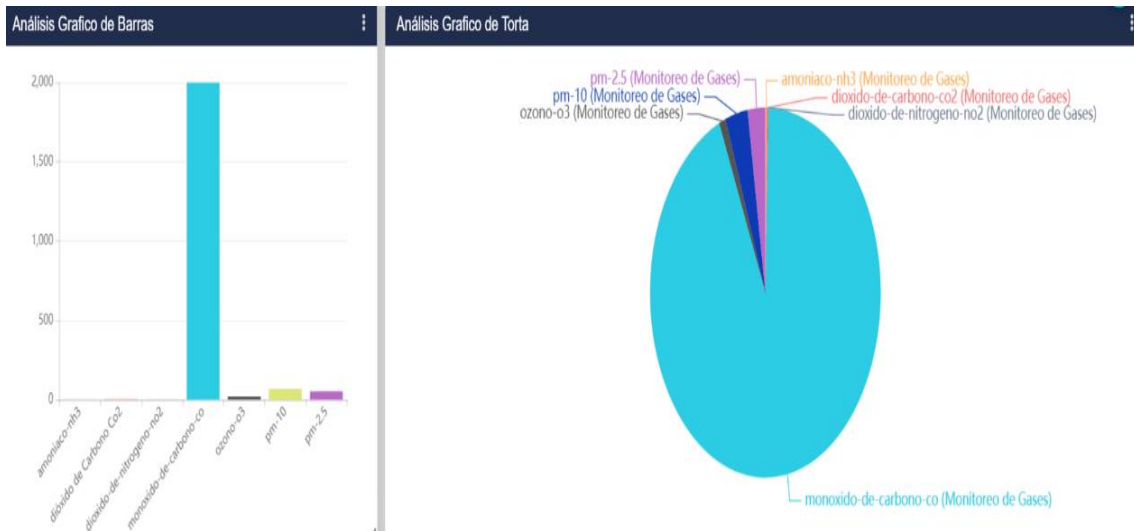


Figura 124. Segundo análisis en la plataforma Ubidots.

Se puede visualizar el tercer análisis de estudio que se realiza en la plataforma Ubidots, donde se puede observar que el Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno y Amoníaco prevalecen en su totalidad, mientras los demás gases como el Monóxido de Carbono, Ozono, PM 10 y PM 2.5 mantienen un nivel muy bajo.

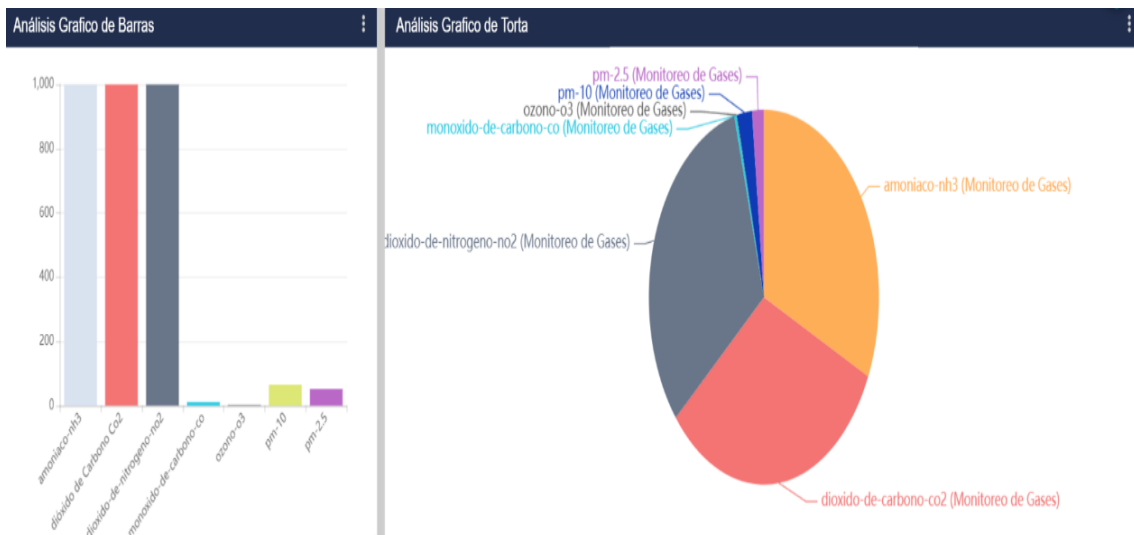


Figura 125. Tercer análisis en la plataforma Ubidots.

Se puede visualizar el cuarto análisis de estudio que se realiza en la plataforma Ubidots, donde se puede observar que el Monóxido de Carbono prevalece en su totalidad, mientras los demás gases como el Amoniac, Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Ozono, PM 10 y PM 2.5 mantienen un nivel muy bajo.

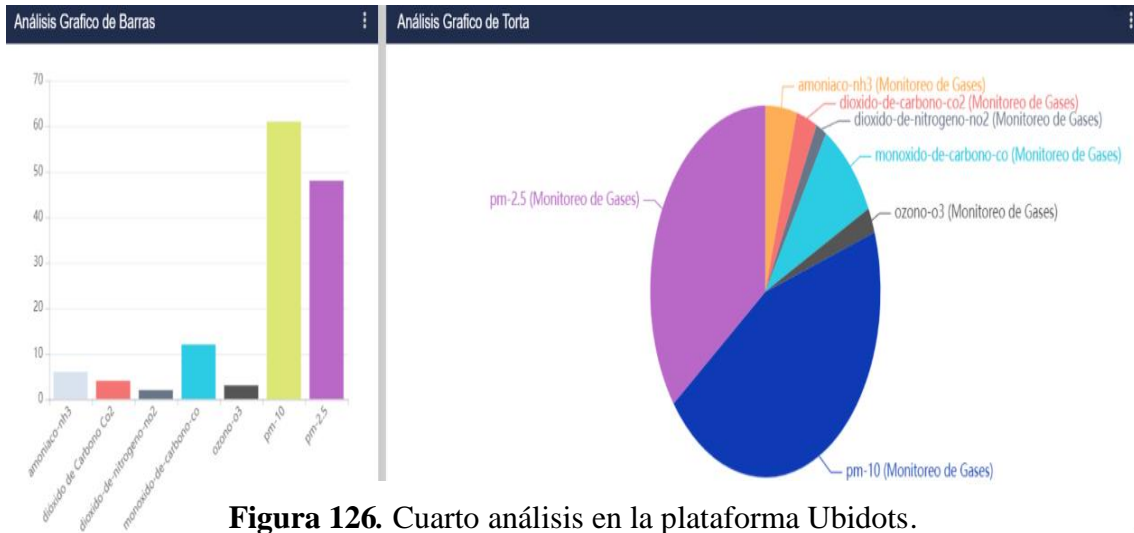


Figura 126. Cuarto análisis en la plataforma Ubidots.

5.9. Representación del Análisis de estudio en la plataforma Ubidots mediante Gráfica General.

Se puede visualizar la representación de la gráfica en general del monitoreo en tiempo real de todos los gases mediante un indicador gráfico en la plataforma Ubidots, la cual contiene el comportamiento de cada uno de ellos en diferentes lapsos de tiempo, además concluir con la variable que prevalece en la misma.

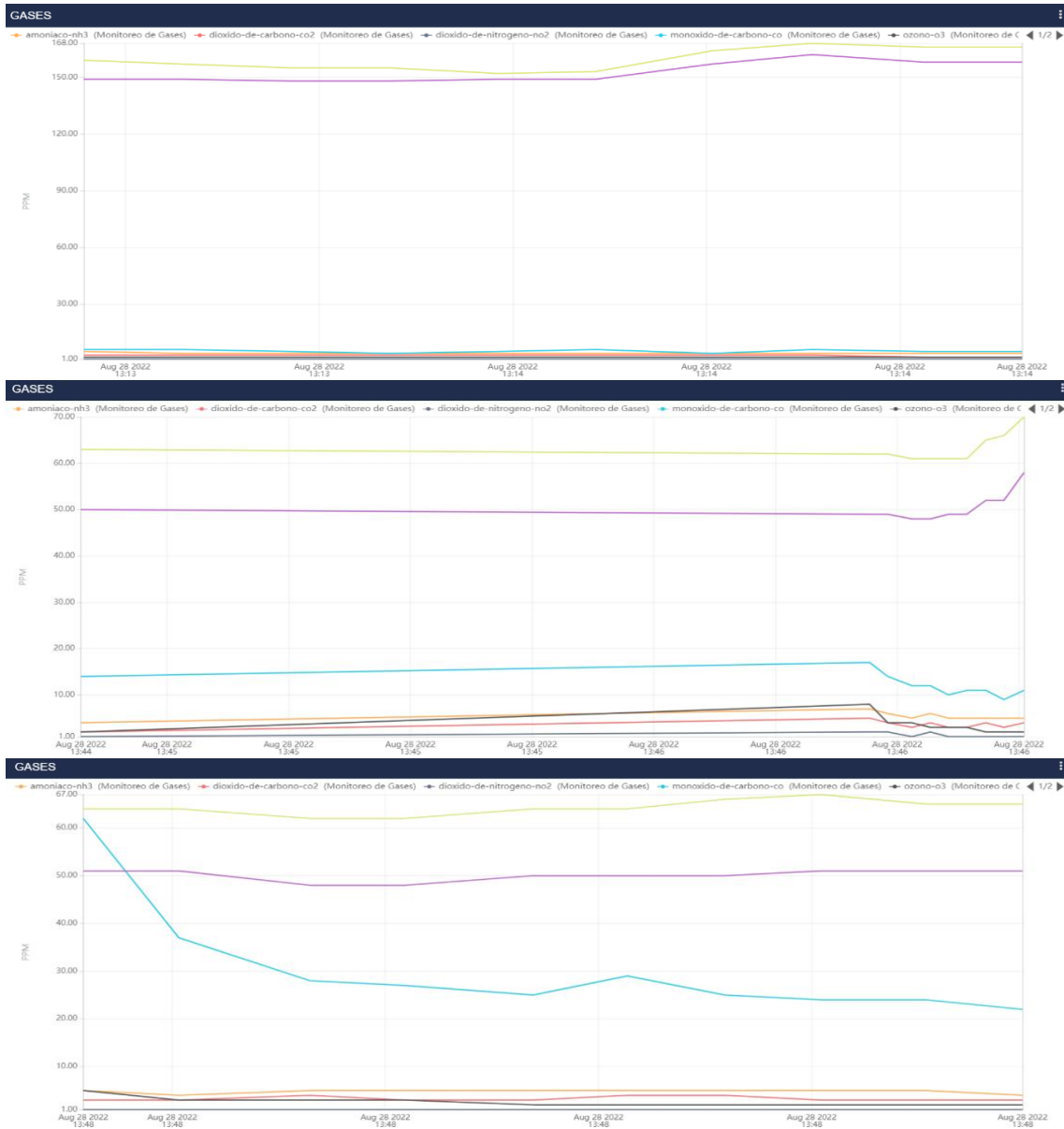


Figura 127. Gráfica general de los gases contaminantes en la plataforma Ubidots.

5.10. Sistema Purificador de Gases Contaminantes

Para realizar la prueba del purificador de gases contaminantes se debe tener en cuenta que este sistema lo conforman cuatro filtros de tres etapas y un cooler AC que funciona como turbina para la extracción e inyección del aire.



Figura 128. Sistema Purificador de Gases Contaminantes del prototipo.

Se muestran los filtros de tres etapas que se utilizan para la purificación del aire contaminado. Este filtro de tres etapas está compuesto por un prefiltro, filtro HEPA y un filtro de carbón activado. El prefiltro atrapa partículas grandes en el aire como polvo, pelos, pelaje de mascotas y pelusa. El filtro HEPA captura un 99,9% de partículas pequeñas de 0,3 micras de tamaño. El ultimo filtro de carbón activado puede absorber los malos olores domésticos de cocinas, mascotas, alimentos en estado de descomposición.



Figura 129. Sistema Purificador de Gases Contaminantes del prototipo.

El funcionamiento del sistema purificador de gases contaminantes se controla mediante la interacción con la pantalla HMI Nextion integrada en el prototipo. El sistema de purificación cuenta con un sistema de operación manual y un sistema de operación automático, cuyos modos de operación son controlados mediante la tarjeta Arduino Mega y el módulo Dimmer PWM.

Se observa la interfaz del modo manual que controla la velocidad de la turbina, la cual consta de cuatro velocidades. La velocidad uno ocupa el 59% de su potencia total, la velocidad dos ocupa el 69% de su potencia total, la velocidad tres ocupa el 79% de su potencia total y la velocidad cuatro ocupa el 100% de su potencia total.



Figura 130. Interfaz del control manual de velocidad de la turbina.

Se observa la interfaz del modo automático que controla la velocidad de la turbina, la cual consta de cuatro velocidades. El cambio de las cuatro velocidades de la turbina dependerá netamente de los niveles permitidos para cada gas contaminante y que se encuentran parametrizados en la programación de Arduino en el punto 4.13 de la sección de Implementación.



Figura 131. Interfaz del Control automático de velocidad de la turbina.

Se observa el funcionamiento del sistema purificador de gases contaminantes. En esta prueba se utiliza como ejemplo la combustión o quema de una hoja de papel, provocando la dispersión de partículas de humo en el aire y así poder observar el funcionamiento de la turbina, la cual extrae las partículas de humo hacia los filtros internos para después expulsar el aire filtrado.

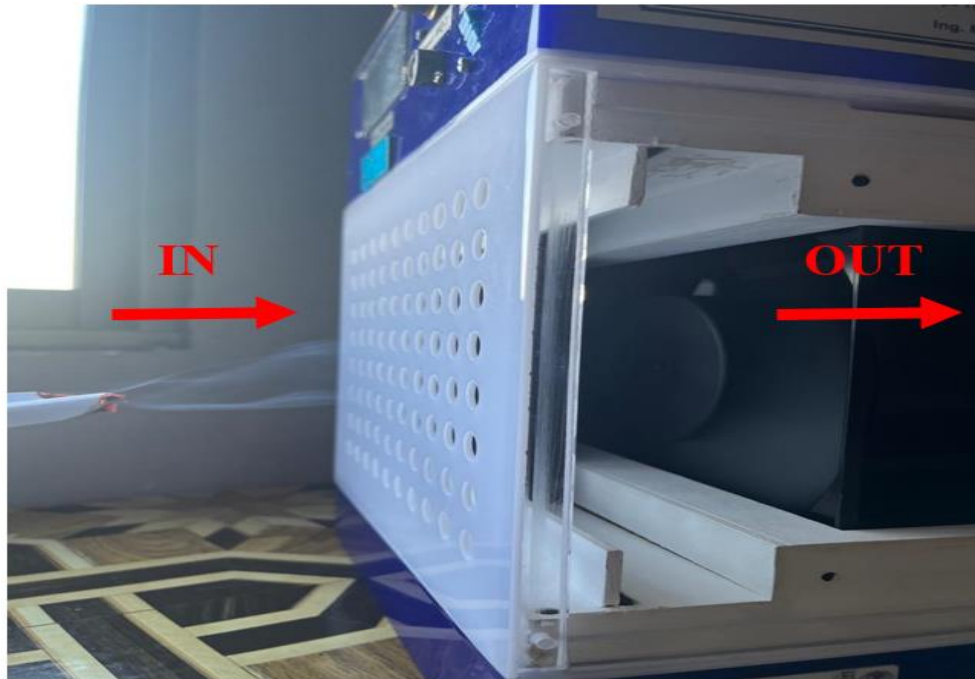


Figura 132. Filtración de partículas de humo utilizando el prototipo.

Se visualiza el antes y después de las lecturas de medición captadas por el sensor PMS 5003, el cual detecta las micropartículas del humo.



Figura 133. Detección de micropartículas de humo en la pantalla HMI Nextion.

6. CONCLUSIONES

- El diseño e implementación del prototipo cumple con las características técnicas esenciales del problema como utilizar componentes de bajo costo, fácil de transportar, que posea un sistema abierto, de mínimo margen de error como se muestra en el análisis de resultados y que sea capaz de medir los parámetros de las concentraciones de los contaminantes y elementos climatológicos en tiempo real con la ayuda del Internet de las Cosas.
- La importancia del uso del prototipo para realizar estudios sobre la contaminación en el medio ambiente, el cual cuenta con un sistema abierto y nada complejo, que permitirá la adaptación de componentes para poder repotenciar el prototipo y crear nuevas aplicaciones a futuro.
- Verificando los resultados y análisis de las pruebas realizadas se pudo confirmar que el prototipo es capaz de detectar los diferentes tipos de gases contaminantes que se plantearon al inicio del estudio. Donde estos gases pueden llegar a ser perjudiciales para la salud de las personas en grandes cantidades.
- El Sistema Purificador de gases contaminantes demostró ser capaz de realizar una buena filtración del aire contaminado, mediante el uso de los cuatro filtros de tres etapas que se situaron por delante y detrás de la turbina para obtener mejores resultados.
- Los sensores que se utilizaron de la familia MQ en este caso MQ-135 (Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno, Amoniac), MQ-7 (Monóxido de Carbono) y MQ-131 (Ozono), estos son componentes electroquímicos que operan con un funcionamiento interesante, siendo así de mucha utilidad. Poseen un mecanismo en el cual se puede calibrar la sensibilidad de cada uno

de ellos, ayudando a tener una mejor lectura de los gases contaminantes que se concentran en el medio ambiente.

- La placa electrónica Arduino en la actualidad es el microcontrolador más amigable, de mucha ayuda para desarrollar y de bajo costo, en base a esto podemos concluir que es fácil de programar y es sencillo realizar todo tipo de configuraciones de los sensores en el presente proyecto.
- Se ha demostrado que la plataforma Ubidots trabaja de forma eficiente, siendo capaz de realizar el monitoreo de calidad de aire en tiempo real, mostrando la lectura de los sensores que se encuentran incorporados en el prototipo, para después poder visualizar y descargar la data de las muestras realizadas.

-

7. RECOMENDACIONES

- Es importante analizar cuidadosamente la ubicación donde será instalado el prototipo, teniendo en cuenta los puntos críticos donde se presente la mayor concentración de contaminantes en el aire, sea una vivienda (sala, dormitorio, estudios), edificios (oficinas, salas de espera), escuelas (aulas, sala de profesores, laboratorios), hospitales (habitaciones de recuperación, salas de espera), etc.
- Es importante tener en cuenta que el prototipo no debe estar ubicado en zonas con altos niveles de humedad y salinidad, ya que este tipo de condiciones podría deteriorar los componentes electrónicos y el cableado, provocando que se acelere el proceso de oxidación en los mismos.
- Para utilizar el prototipo de una manera adecuada y segura, se debe tomar en cuentas las siguientes recomendaciones, como utilizar guantes, mascarilla, gafas protectoras, para no estar tan expuesto a las altas concentraciones contaminantes de los gases tóxicos al momento de realizar alguna prueba con ellos.
- Para realizar pruebas de funcionamiento en el prototipo se recomienda tener puntos de ventilación en el mismo, para no tener problemas con el sobrecalentamiento de los componentes electrónicos.
- Es importante revisar periódicamente el funcionamiento de los sensores, ya que de eso dependerá tener una mejor lectura y sensibilidad en los mismos.

- Para calibrar los sensores se debe tener la documentación correcta, utilizando la hoja técnica de fabricación (datasheet) de los componentes electrónicos, además se deben realizar muchas pruebas-error hasta obtener el resultado deseados.
- Se recomienda tener mucho cuidado al momento de manipular la pantalla HMI Nextion, ya que su pantalla es muy delicada y propensa a rayarse, además se recomienda utilizar una memory card al momento de cargar su programación.
- Se recomienda utilizar otras plataformas IoT para el monitoreo de las variables en tiempo real, ya que la tarjeta electrónica ESP 8266 Wifi no solo es compatible con la plataforma Ubidots, permitiendo así el aprendizaje y desarrollo en distintas plataformas IoT.

-

8. PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN VINCULADOS

Creación de un prototipo de sensor de aire con conexión a la base de datos basado en Arduino.

Se implementó un sistema que en conjunto con los sensores MQ integrados permiten detectar y analizar todos los contaminantes que se encuentran en el medio ambiente que se le asigne analizar y de esta forma se puede emitir un diagnóstico de contaminación ambiental para poder tomar medidas que contrarresten estos resultados obtenidos. Con los datos alojados en la base de datos se procede a realizar un diagnóstico de los niveles de contaminación que posee el aire de la ciudad de milagro ya que esto interviene en la salud de la población.(Altamirano & Chávez, 2019)

Diseño de un sistema de tecnologías abiertas para la medición del material particulado en la ciudad de Santa Elena.

Se implementó un prototipo capaz de realizar mediciones en forma continua donde los niveles de concentraciones de materiales particulados el PM-2.5. donde la calidad del aire deba ser monitoreada para tener datos reales y conocer los niveles de peligro que este representa para el ser vivo. Este estudio brinda información importante al momento de ensamble como de toda información que permita ensamblar y monitorear variables encargadas de obtener datos reales y mostrarlos en el sistema de control.(Caicedo, 2017)

Desarrollo para aplicaciones de monitoreo y control basadas en IoT mediante la plataforma Ubidots. Aplicaciones a los sistemas de automatización bajo entornos de simulación.

Se realizo una aplicación que se encarga de automatizar bajo ámbitos de simulación. El avance de la tecnología por software y la conexión de equipos de red para realizar controles remotos desde la comunicación y ayuda a visualizar los datos en tiempo real.

Donde con esta herramienta que facilita el uso equipos domóticos con plataformas IoT.(Espinosa Apolo & Orellana Guayas, 2021)

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Electronica. (2016). Sensor de humedad y temperatura DHT 11 y DHT22. Abc Proyectos Electrónicos, 1–11. <http://www.abcelectronica.net/proyectos/con-microcontrolador/dht1122/>
- Adobe, S. (2022). Monóxido de carbono. <https://stock.adobe.com/es/images/vector-artistic-pen-and-ink-drawing-illustration-of-smoke-coming-from-industry-or-factory-smokestacks-or-chimneys-into-air-environmental-concept-of-carbon-monoxide-or-co-air-pollution/231262274>
- Altamirano, J., & Chávez, J. (2019). Creación de prototipo de sensor de aire con conexión a base de datos basadi en arduino (p. 48). [http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4780/1/CREACION DE PROTOTIPO DE SENSOR DE AIRE CON CONEXIÓN A BASE DE DATOS BASADO EN ARDUINO.pdf](http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4780/1/CREACION_DE_PROTOTIPO_DE_SENSOR_DE_AIRE_CON_CONEXIÓN_A_BASE_DE_DATOS_BASADO_EN_ARDUINO.pdf)
- Amazon. (2018). Amazon.com: PWM Regulador de módulo de luz 50 Hz AC 60 Hz para Arduino y frambuesa LED Smart Home: Electrónica. <https://www.amazon.com/-/es/Regulador-m%C3%B3dulo-50-Hz-Arduino-frambuesa/dp/B076V2RD26>
- Amazon. (2022). Amazon.com: Wathai AC 20060 200mm x 60mm Dual Ball 110v 120V High Performance Industrial Cooling Fan: Electronics. https://www.amazon.com/dp/B07S16KBXQ/ref=cm_sw_r_awdo_B243TQEXD DFJCW0MHDE1?th=1
- Antúnez, F. (2008). El ozono y la ozonoterapia. Núm. 1 Enero-Diciembre, 1, 1–2. www.medigraphic.com
- AprendEmergencias. (2021). Intoxicación por monóxido de carbono - AprendEmergencias. <https://www.aprendemergencias.es/prevenci%C3%B3n/mon%C3%B3xido-de-carbono/>

- Arduino. (2018). What is Arduino? | Arduino. 02 de Febrero. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Asmara, R. (2016). Determinación de la concentración de dióxido de nitrógeno(NO₂)por difusión pasiva, como indicador de la calidad del aire en 8 cabeceras departamentales de la república de Guatemala. *Revista Brasileira de Ergonomía*, 3(2), 80–91. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/Q227.pdf>
- Autodesk. (2022). Software AutoCAD . https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=058bb136-558b-4cbe-acae-5825ff013ed0&us_pt=ACD&us_at=Descripci%C3%B3n&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=ACDIST
- Aziz, D. A. (2018). Webserver Based Smart Monitoring System Using ESP8266 Node MCU Module. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(6), 801–808. https://www.researchgate.net/profile/Dlnya-Aziz-4/publication/326672970_Webserver_Based_Smart_Monitoring_System_Using_ESP8266_Node_MCU_Module/links/5b5cae8e458515c4b2501919/Webserver-Based-Smart-Monitoring-System-Using-ESP8266-Node-MCU-Module.pdf
- Aznar, I. (2020, September 2). BOE.es - BOE-A-2020-10426 Resolución de 2 de septiembre de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se modifica el Anexo de la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-10426>
- Belman, J., & Perez, V. (2013). Co₂ como refrigerante del pasado al futuro. <https://www.redalyc.org/pdf/416/41627030003.pdf>
- Betetta, J. (2019). Los efectos de la polución ambiental por micropartículas m_{2.5} y pm₁₀ en la presencia de enfermedades respiratorias en los pobladores del distrito de Ate. *Universidad Inca Garcilaso de La Vega*, 148. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/344>

- Caicedo, S. (2017). Diseño de un sistema de tecnologías abiertas para la medición de material particulado en la ciudad de Santa Elena. 63. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/22251>
- Carrasco, J. (2022). Los 7 Mejores Purificadores de Aire con filtro HEPA. Guía 2022. <https://airehogar.com/mejores-purificadores-aire/>
- Carrillo, J. (2012). Contaminación del aire en Guayaquil, Guayas. Arcgis. <https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=e87782aef5fe4204ac4669ac44236a74>
- CASALS. (2019). Cómo calcular las renovaciones por hora según la actividad de un local. 1-7. casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion_de_aire_en_locales_tipicos_casals.pdf
- Chuet-Misse, J. (2017, February 26). NO2, el peligroso contaminante que afecta a la capacidad de atención de los niños. <https://www.lavanguardia.com/natural/20170226/42280025427/no2-dioxido-de-nitrogeno-peligroso.html>
- Córdova, M. (2017, March 27). Endurecen la norma para medir partículas – El Norte – Pueblo Bicicletero. <https://pueblobicicletero.org/endurecen-la-norma-para-medir-particulas/>
- Donostiako, U. (2010). Calidad del aire - Medio Ambiente - Donostia.eus. <https://www.donostia.eus/ataria/es/web/ingurumena/salud-ambiental/calidad-del-aire-en-san-sebastian>
- el Telégrafo. (2016). El Telégrafo - 36,8 toneladas de CO2 se generan anualmente en Guayaquil. Telégrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/10/36-8-toneladas-de-co2-se-generan-anualmente-en-guayaquil>
- el Universo. (2005, September 7). Guayaquil tiene 25 puntos críticos de contaminación | Comunidad | Guayaquil | El Universo. <https://www.eluniverso.com/2005/09/07/0001/18/2AFDAF3352FF4F0A8B9398C7E09327D6.html/>

- Espinosa Apolo, B. A., & Orellana Guayas, M. E. (2021). Desarrollo de aplicaciones de monitoreo y control basadas en IoT a través de la plataforma Ubidots. Aplicaciones a sistemas de automatización bajo entornos de simulación. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20298>
- esploradores. (2022). PINOUT-NodeMCU_1.0-V2-2_2.jpg (2327×1588). https://www.esploradores.com/wp-content/uploads/2019/11/PINOUT-NodeMCU_1.0-V2-2_2.jpg
- Hanwei Electronics. (2016). MQ-7 Gas Sensor Datasheet. 1, 3–5. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- Hanwei Henan, E. C. (2010). MQ131 Semiconductor Sensor for Ozone. 2–4. <http://www.cooking-hacks.com/skin/frontend/default/cooking/pdf/MQ-131.pdf>
- hubot. (2018). MQ131 Semiconductor Sensor for Ozone. <https://hubot.cl/wp-content/uploads/2018/07/MQ131.pdf>
- Ignacio, J. (2018). AutoCAD logo. <https://unaaldia.hispasec.com/2018/12/malware-en-autocad-el-auge-del-espionaje-industrial.html>
- MakerElectronico. (2022). MQ135 sensor Calidad de Aire Gases Toxicos - MakerElectronico. <https://www.makerelectronico.com/producto/mq135-sensor-calidad-aire-gases-toxicos/>
- Mora, M. (n.d.). Laboratorio Virtual Multiplataforma de Ozono - Acerca de. Retrieved July 25, 2022, from <http://www.uco.es/investiga/grupos/wmozono/acercade.php>
- naylamp, mechatronics. (2021). Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>
- Naylamp, M. (2021). Sensor MQ-7 gas monóxido de carbono CO. <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/74-sensor-mq-7-gas-monoxido-de-carbono-co.html>
- Naylamp, M. S. (2021). NodeMCU v2 ESP8266 WiFi. <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>

- nextion. (2022). NX3224T024 - Nextion. <https://nextion.tech/datasheets/nx3224t024/>
- Olimex. (2013). Technical Data Mq-135 Gas Sensor. Hanwei Electron, 1, 3–4. <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- Oliu, G., Nogué, S., Miró, Ò., & Recepción, F. de. (2010). Intoxicación por monóxido de carbono: claves fisiopatológicas para un buen tratamiento
CORRESPONDENCIA: CONFLICTO DE INTERESES:
AGRADECIMIENTO. Emergencias, 22, 451–459. https://www.ssibe.cat/documents/doc_1066.pdf
- OMS. (2021). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. 22-09. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ortega, C. (2016, December 9). Guía amoniaco. <https://www.slideshare.net/JESUSCRISTOESVIDA/guia-amoniaco>
- PEREIRA-PEÑATE, N. (2016). Uso de microorganismos eficientes (M.E) en pollinaza para disminuir los niveles de amoniaco (NH₃) en granjas avícolas comerciales de Sincelejo, Colombia. Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA, 8, 386–390. <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.395>
- Plastimedia. (2020). Gases: Sensor de Ozono MQ131 - V2. <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/gases/sensor-de-ozono-mq131-gas-sen-ozono-2-sensor-sensores-de-gases-ozono-mq131-mq-131-detail>
- Robotshop. (2015). Arduino Mega 2560 Datasheet. Power, 1–7. <http://www.robotshop.com/content/PDF/ArduinoMega2560Datasheet.pdf>
- Soler, P. (2018, December 24). Efectos del CO₂ en la contaminación del aire interior y en la salud | S&P. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/efectos-co2/>
- Suelos, C. de, Luis Calapiña Sánchez, J., & Edgar Patricio Córdova Córdova Ambato -Ecuador, I. (2018). “Sistema Electrónico portable para la medición del índice de sistemas embebidos.”

- Suria, C. (n.d.). Contaminación por CO2: Efectos a la Salud. Retrieved July 28, 2022, from <https://www.carlessuria.com/toxicos/co2-dioxido-carbono/>
- TEcmikro. (2022, July). DHT11 Sensor de temperatura y humedad. <https://tecmikro.com/sensores/141-dht11-sensor-de-temperatura-y-humedad.html>
- Teja, R. (2021). Arduino Mega Pinout | Arduino Mega 2560 Layout, Specifications. January 20. <https://www.electronicshub.org/arduino-mega-pinout/>
- Ubidots. (2022). IoT platform | Internet of Things | Ubidots. Ubidots. <https://ubidots.com/>
- Unit, E. (2016). Fuente de Alimentacion 5V 10A - UNIT Electronics. <https://uelectronics.com/producto/fuente-de-alimentacion-5v-10a/>
- Yong, Z. (2016). Plantower PMS5003 Data Manual. 3. http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/resources-page/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf

10.ANEXOS

10.1. Anexo A: “La norma DIN”.

Tabla XIII

Tiempo de renovación de aire por hora según la norma DIN.

Tipo de Local	Renovaciones de Aire por Hora	Sector
Aulas de Estudio	5 a 7	Terciario
Despachos de Reuniones	6 a 8	
Garajes	5	
Gym	4 a 6	
Cuartos de Hotel	3 a 8	
Oficinas	4 a 8	
Salón de conferencias	6 a 8	
Sala de star	4 a 6	
Sala de Reuniones	5 a 10	
Tiendas	4 a 8	
Vestuarios	6 a 8	
Discotecas	10 a 12	
Casinos	8 a 12	
Teatro y Cines	5 a 8	
Cocinas	10 a 15	Doméstico
Baños	5 a 7	
Cuartos Residenciales	3 – 8	
Armarios	4 – 6	
Duchas	15 – 25	
Almacenes	5 – 10	Industrial
Laboratorios	8 – 15	
Salas de máquinas	10 – 40	
Taller de Soldadura	20 – 30	
Tintorerías	5 – 15	

La norma recomienda el número recomendado de renovaciones/horas de aire en ambientes. (CASALS, 2019)

10.2. Anexo B: “Planos AUTOCAD 2D”.

Se presenta el plano 2D de la vista inferior del diseño 3D realizado en AutoCAD 3D.

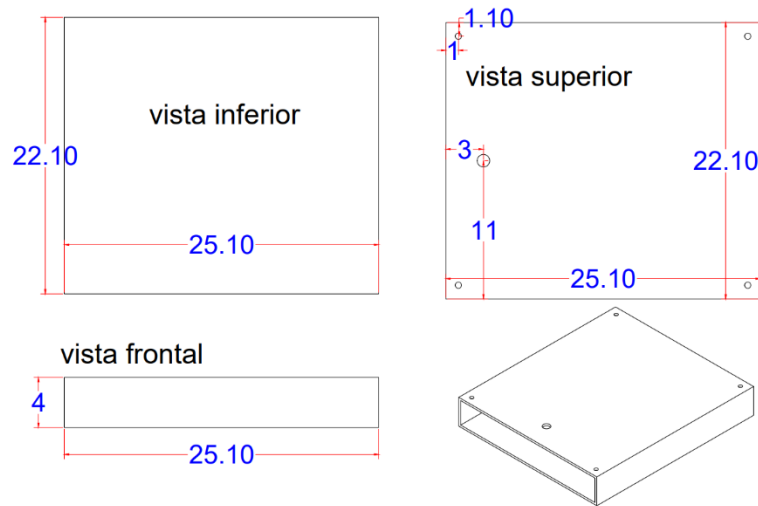


Figura 134. Plano de prototipo vista inferior.

Se puede ver el Plano 2D de la parte media del prototipo donde incluye la parte de los filtros la turbina.

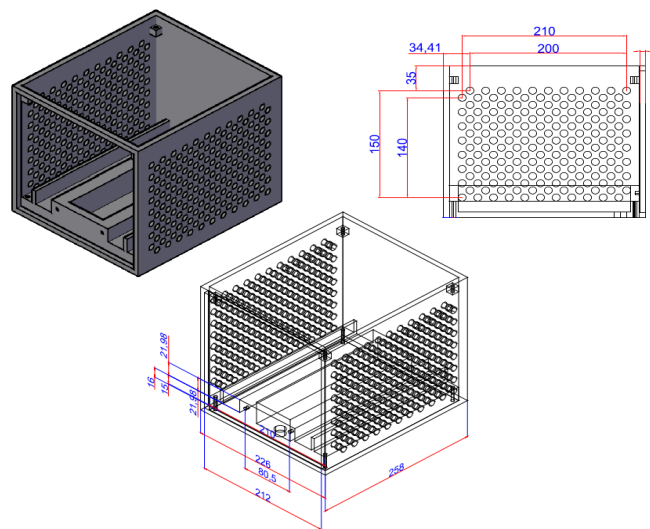


Figura 135. Plano de la parte media del prototipo.

Se observa los planos 2D de la parte superior del prototipo. Donde se instaló los componentes electrónicos, fuente, sensores, pantalla HMI y otros.

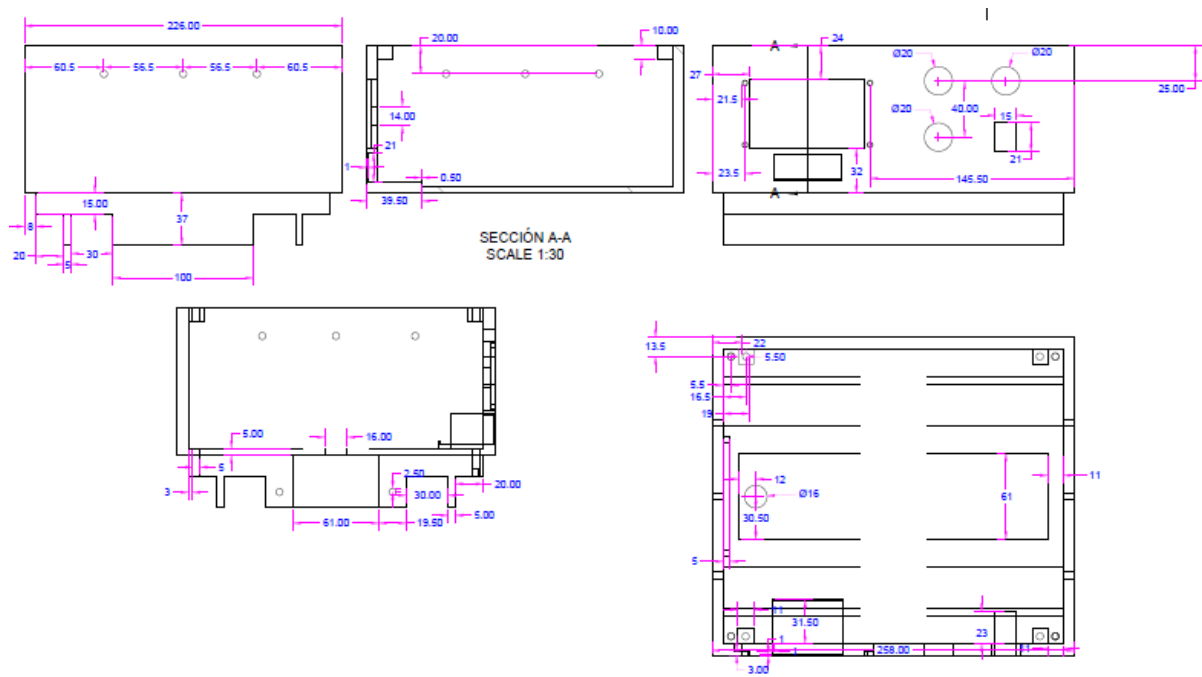


Figura 136. Plano 2D de la parte superior del prototipo

10.3. Anexo C: “Fichas técnicas de los componentes electrónicos utilizados en el prototipo”.

Tabla XIV

Datos técnicos del sensor MQ131. (Hanwei Henan, 2010)

DATOS TÉCNICOS			
Modelo N°.		MQ131	
Tip. de sensor		Semiconductor	
Encapsulación estándar		Baquelita	
Detección de gas		Ozone	
Concentración		10 – 1000 ppm Ozone	
Circuito	Voltaje	V_c	$\leq 24V$ DC
	Alto Voltaje	V_H	$5.5V \pm 0.3V$ AC or DC
	Baja Resistencia	R_L	Ajustable
Character	Calentador resistencia	R_H	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Room Tem.)
	Calentador consumo	P_H	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	R_s	$50K\Omega - 500K\Omega$ (in 50ppm O3)
	Rango de sensibilidad	S	$R_s(\text{in air})/R_s(\text{in } 50\text{ppm O3}) \geq 3$
	Slope	α	$(R_{50\text{ppm}}/R_{10\text{ppm O3}})$
Condition	Temp. Humidity	$20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C} ; 65\% \pm 5\%RH$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.5V \pm 0.15V ;$ $V_H: 5.30V \pm 0.19V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

Tabla XV

Ficha Técnica sensor MQ-7.(Hanwei Electronics, 2016)

Symbol	Parametros	Condiciones técnicas	Remark
Vcc	Circuito de volt	5.5V ± 0.1	Ac - Dc
VH	Alto voltage (high)	5.1V ± 0.1	Ac - Dc
VHL	Bajo voltage (low)	1.4v ± 0.1	Ac - Dc
RL	Resistencia carga	Can adjust	
RH	Heating resistance	33 Ω ± 5%	Room temperature
TH H	Heating. time (high)	60 ± 1 seconds	
TH L	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350 mW	

En la Tabla XVI se presenta las descripciones técnicas del sensor pms5003 y los rangos de funcionamiento.

Tabla XVI

Ficha técnica del Sensor de temperatura y humedad DHT11.(ABC Electronica, 2016)

DHT11	Especificaciones
V _{cc}	3.3V a 5VDV
Corriente_máxima	2.55 mA durante la conversión.
Lectura_temperatura	+/- 5% de precisión.
Lectura_temperatura	+/- 2 °C de precisión.
Medir_humedad	20% a 80%.
Medir_temperatura.	0 a 50 °C
Velocidad_muestro	1 Hz una vez cada segundo
Dimensiones	15. 8 mm x 12.2mm x 5.4mm.

Tabla XVII

Características técnicas del sensor pms5003.

Parámetros	Rangos	Unidad
Rango de medición	≥ 1000	$\mu \text{ g/m}^3$
Tiempo de respuesta	≤ 100	Segundos (s)
Corriente Activa Corriente Estándar	≤ 100 ≤ 200	Miliamperes (mA) Microamperes (μ)
Alimentación	Typ:5.0V Min:4.5 V Max: 5.5V	Volt (V)
PIN_1	V_CC	+5 V positivo
PIN_2	GND	-0 V negativo
PIN_3	SET	Set pin/TTL a 3.5V
PIN_4	R_X	Puerto serial recibidor pin/ttl 3.4v
PIN_5	T_X	Puerto serial de envió pin/ttl 3.31V
PIN_6	RESET	Señal ttl level low
PIN_7/8	N_C	

Tabla XVIII

Datos técnicos del sensor MQ-135.

DATOS TÉCNICOS			
Modelo N°		MQ-135	
Tip. de sensor		Semiconductor	
Encapsulación estándar		Baquelita	
Detección de gas		NH ₃ , NO _x , alcohol, Benceno, Humo, CO ₂	
Concentración		10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm- 1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol	
Circuito	Voltaje	V_c	$5.3V \pm \leq 0.1 V \text{ DC}$
	Heater Voltaje	V_H	$5.20V \pm 0.1V \text{ AC or DC}$
	Load Resistance	R_L	Ajustable
Character	Heater Resistance	R_H	$33\Omega \pm 5\%$ (Room Tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 800mW$
	Sensing Resistance	R_s	$30K\Omega$ $- 200K\Omega(\text{in } 1000ppm \text{ NH}_3)$

	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(\text{in } 50\text{ppm } O_3) \geq 3$
	Slope	α	≤ 0.65
Condiciones	Temperatura y humedad		$20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$; $65\% \pm 5\%RH$
	Test de circuito estándar		$V_c: 5.4V \pm 0.12V$; $V_H: 5.30V \pm 0.12V$
	Tiempo de precalentado		Durante 24 hours

Tabla XIX

Datos técnicos del Dimmer de velocidad PWM para variar el voltaje AC.

Dimmer de velocidad AC	Especificaciones
Alimentación	3.3 V a 5 V DC
Corriente máxima	5 A
Corriente nominal de carga	2 A
Voltaje_carga	110/220V AC
Potencia_carga	400_W.
Triac:	BTA16-600_B
Aislamiento _óptico	MOC_3021 y 4_N25

Tabla XX

Fuente de alimentación de 5V-10A para el prototipo(Unit, 2016)

Fuente conmutada	Especificaciones
Alimentación	AC 110-220V 50/60 Hz
Corriente_máxima	10A
Voltaje_salida	5V DC
Protección	Cortocircuito_sobrecarga_Sobretensión
Potencia de carga	50W máx.
Temperatura de trabajo	(-10 ~ + 50)°C
Dimensiones	16cm X 9.9cm X 4.2cm (L*W*H)
Peso	0.35Kg

Tabla XXI

Datos técnicos del controlador Arduino mega 2560.(Robotshop, 2015)

Arduino mega	Especificaciones
Voltaje_operación	5 V DC
Voltaje_entrada	7 – 12 V DC
Límites de voltajes	6V – 20 V DC
Entradas y salidas digitales	54 y 14 PWM salidas
Velocidad de reloj	16MHz
Velocidad del reloj	256 KB y 8 KB para blootloader
EEProm	4 KB

Tabla XXII

Datos técnicos del modulo ESP8266. (esploradores, 2022)

ESP8266	Especificaciones
Voltaje externo	5V A 10V DV
Alimentación interna	3.3V DC
Tierra GND	GND ground
Pines de entrada	GPIO (3.3V) todas las salidas son digitales
Pines de salida	ADC (0V a +1V entre 1023 intervalos)
Bus SPI	SPI
Comunicación Serie	TX/RX (UART)
SDIO	Pin para iniciar el ESP8266

Tabla XXIII

Cálculos de la potencia y corriente “DC” total consumida en el prototipo.

Consumo de Energía Eléctrica DC	
Componente Electrónico	Consumo de Potencia (mW)
Sensor_MQ 7	350
Sensor_MQ 135	800
Sensor_MQ 131	1100
Sensor_PMS5003	500
Sensor_DHT11	12,5
Arduino_Mega	2500
Esp8266	850
Pantalla_Nextion	425
Módulo_Dimmer	50
Consumo Total (mW)	6587,5
Consumo Corriente (Amp)	1,3175

Tabla XXIV

Consumo de energía eléctrica AC del prototipo.

Consumo de Energía Eléctrica AC	
Componente Electrónico	Consumo de Potencia (W)
Fuente Conmutada	50
Ventilador	50
Consumo Total (W)	100
Consumo Corriente (Amp)	0,91

10.4. Anexo D: “Curvas características sensitivas de los sensores”.

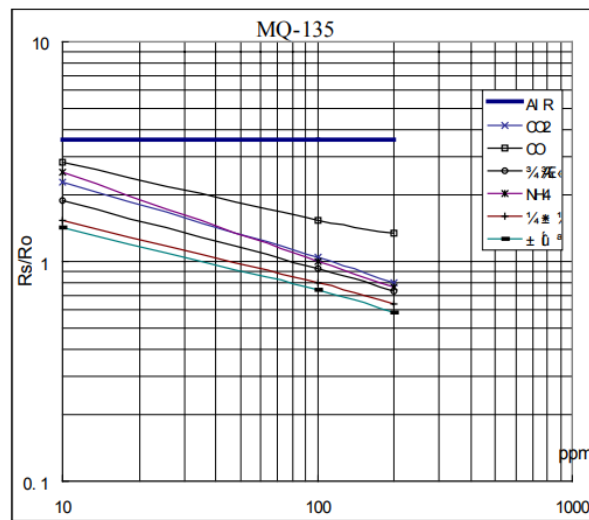


Figura 137. Gráfica de sensibilidad MQ-135. (Olimex, 2013)

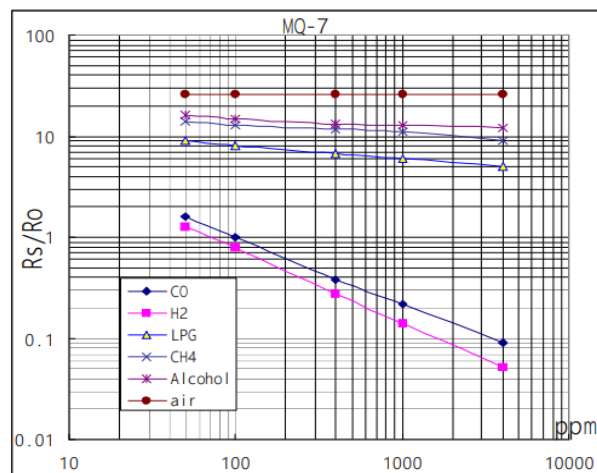


Figura 138. Gráfica de sensibilidad MQ-7. (Hanwei Electronics, 2016)

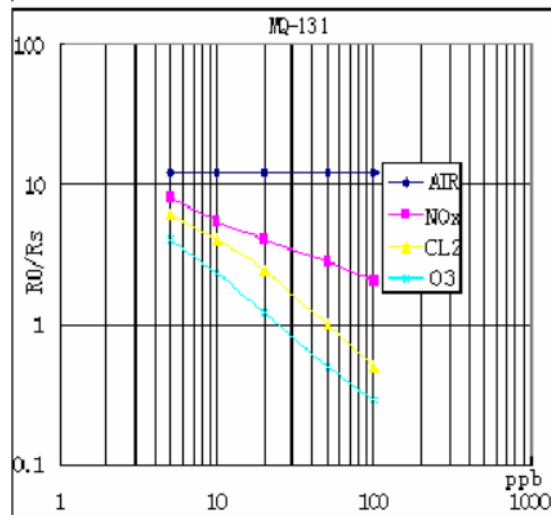


Figura 139. Gráfica de sensibilidad MQ-131. (Hanwei Henan, 2010)

10.5. Anexo E: “Proceso de implementación del prototipo”.

Se logra ver la base de los filtros y el soporte para la turbina en el punto 2.9 de la sección del Marco Teórico.



Figura 140. Soporte para los filtros y la turbina

Se puede visualizar el ensamble del prototipo y el ensamble de la conexión eléctrica y de control del prototipo, primero se procedió a soldar los pines de los sensores y realizar perforaciones en la pared frontal para colocar los sensores y pantalla HMI Nextion.



Figura 141. Ensamble del prototipo y los componentes electrónicos.

Este prototipo cuenta con un fusible de protección de 110V-10A se fue instalado en la fase principal del prototipo esto es con la finalidad de evitar daños en el prototipo por sobretensiones.

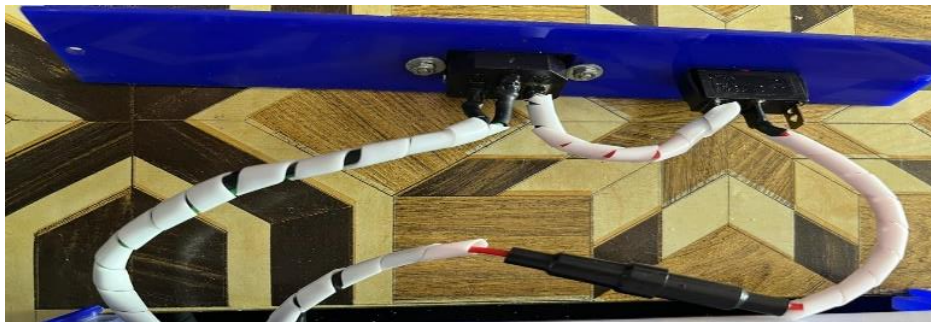


Figura 142. Conexión del porta fusible de protección 110V-10A

Se procedió a realizar las conexiones de los componentes electrónicos y soldar, además de conectar cada componente a la fuente de poder de 5V DC - 10A. Después

se procedió a colocar las etiquetas de cada componente, señalando las líneas de alimentación y líneas de comunicación.

Estos cables fueron recubiertos por un plástico en espiral para la protección y durabilidad. La figura 144 muestra el momento donde se colocan las etiquetas de los componentes y la placa con el título del proyecto técnico, nombres de los estudiantes y el nombre del tutor.



Figura 143. Realizando conexiones eléctricas del prototipo



Figura 144. Pegar etiquetas y placa metálica al prototipo.

Se muestra el módulo final con la instalación de los filtros y la turbina dentro del prototipo, también logramos observar el interruptor de encendido y apagado del equipo.



Figura 145. Montaje de la turbina extractora de aire y los filtros de aire.

Se puede ver el módulo terminado con todos sus componentes instalados como: filtros, sensores, controlador, protecciones, etiquetas y otros.



Figura 146. Vista del prototipo terminado.

10.6. Anexo F: “Presupuesto del proyecto”.

En la tabla XXV se presenta los costos de cada componente electrónico y el valor final de la inversión que se necesitó para realizar este proyecto de grado.

Tabla XXV

Presupuesto de la inversión del prototipo.

Descripción de los componentes	Cantidad	Costo unitario	Costo final
Arduino_Mega	1	\$25,00	\$25,00
Sensor_MQ-135	1	\$4,00	\$4,00
Sensor_MQ-7	1	\$4,00	\$4,00
Sensor_MQ-131	1	\$25,00	\$25,00
SensorPMS5003	1	\$55,00	\$55,00
Sensor_Dht11	1	\$3,50	\$3,50
Dimmer de Velocidad AC	1	\$25	\$25
Turbina de motor AC	1	\$40,00	\$40,00
Pantalla HMI-NI 2.4”	1	\$45,00	\$45,00
Módulo Wifi ESP8266	1	\$9,00	\$9,00
Set de filtros de aire de 3 etapas.	1	\$45,00	\$45,00
Fuente de poder 110V AC - 5V DC	1	\$15,00	\$15,00
Placa metálica	1	\$15	\$15
Varios (etiquetas, tornillos, cable, protectores, borneras, porta fusible, etc.)	Global	\$20	\$20
Estructura en acrílico	1	\$150,00	\$150,00
Total			\$480,50

10.7. Anexo G: “Cronograma de actividades”.

En la tabla XXVI se presenta el cronograma de actividades que se realizaron desde los años 2021 y 2022 que se necesitaron para el montaje del proyecto técnico.

Tabla XXVI

Cronograma de actividades del proyecto de titulación.

Actividad	1er Semestre						2do Semestre						3er Semestre						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Búsqueda y Adquisición de dispositivos que se utilizaran en el proyecto.	■	■																	
Programar y calibrar los sensores.			■	■															
Instalación y configuración del motor ventilador DC, el sistema de filtración del aire de 3 etapas.					■	■													
Instalación y configuración del motor ventilador DC, el sistema de filtración del aire de 3 etapas.					■	■													
Diseñar pantalla HMI Nextion y comunicarlo con el Arduino							■	■											
Configuración para la visualización de los datos de los sensores en tiempo real en la plataforma Ubidots IoT.							■	■											
Unir las programaciones de los sensores la pantalla HMI y comunicación con el ESP8266									■	■									
Diseñar el módulo en el software AutoCAD 3D e implementarlo.											■	■							
Instalar todos los componentes electrónicos en el prototipo, incluyendo motor y filtros.													■	■					
Comprobación de funcionamiento óptimo del sistema, Realizar las pruebas correspondientes de medida de los gases.															■				
Avance del libro.				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Corrección final del documento																		■	■