

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Implementación de un sistema de medición de calidad de alimentos para el
proyecto de investigación en desinfección y conservación de comida de la
carrera de Ingeniería en Alimentos de FIMCP

INGE - 2636

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Carlos Rubén González Suárez

Luis Vicente Alvarez Bolaños

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios en primer lugar, quien me ha bendecido a lo largo de mi vida y me ha permitido lograr muchas cosas que he deseado, también a mis padres Fanny Suárez y Rubén González que han sacrificado horas de sueño, paciencia y esfuerzo por brindarme lo mejor para que yo tenga éxito en la vida y a toda mi familia que han estado allí para brindarme su apoyo incondicional, los amo mucho. A la memoria de mi abuelito Carlos Suárez quien desde pequeño cuidó de mí y hoy en día me cuida mucho desde el cielo, quisiera que sepa que todo este esfuerzo fue por él y siempre lo tendré presente en mi corazón.

Un agradecimiento especial a todos mis amigos que he tenido en la vida, a los de la universidad, a los de la escuela y a todos los que han formado y formarán parte de mi vida. Todo este proceso, sacrificio y éxito que he tenido, se los dedico con mucho cariño y aprecio y espero seguir creciendo junto a ustedes.

Carlos Rubén González Suárez

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi querido padre, Luis Alvarez, por el apoyo incondicional durante este trayecto. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome ánimo y confianza en cada paso, tu amor siempre me sostuvo para cumplir esta meta.

A mi adorada madre, Rosario Bolaños, por devolverme el norte cuando todo parecía perdido. Gracias por recordarme siempre la fortaleza que llevo dentro y demostrarme que los sueños se cumplen con esfuerzo y fe.

A mi amada prometida, Génesis Clavijo, por sus sabios consejos. Este logro marca el comienzo de un nuevo capítulo en nuestras vidas, lleno de anhelos y metas por alcanzar juntos.

A mis queridos hermanos, por sus palabras de aliento, y sus sinceros deseos de verme realizado profesionalmente.

Luis Vicente Alvarez Bolaños

Declaración Expresa

Nosotros González Suárez Carlos Rubén y Alvarez Bolaños Luis Vicente acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

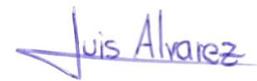
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 18 de octubre del 2024



González Suárez Carlos
Rubén



Alvarez Bolaños Luis
Vicente

Evaluadores

Dennys Dick Cortez Alvarez

Profesor de Materia

Alexander Prieto León

Tutor de proyecto

Resumen

En el entorno, los alimentos suelen encontrarse expuestos a diferentes factores que generan un cambio en su composición. Estos cambios principalmente afectan su tiempo de vida y producto de ello, empiezan a emanar gases característicos de su estado de descomposición. Esto podría traer consigo diferentes enfermedades que produzcan un riesgo en la salud de las personas del Ecuador. Para ello, se ha desarrollado un prototipo de Nariz Electrónica para medir la calidad de los alimentos para uso experimental, este prototipo está compuesto por múltiples sensores los cuales serán activados a través de una pantalla HMI, que permita observar los cambios producidos en los alimentos y los registre en una base de datos.

Considerando lo antes mencionado, se procedió a desarrollar el prototipo a partir de materiales y componentes de uso simple y concreto, así como el uso de entornos de programación para la creación de la aplicación requerida.

Se produjo la construcción de las diversas cámaras que estarían inmersas en el prototipo, elaboradas a partir de un material acrílico y aislados del exterior, con la finalidad de que las muestras obtenidas no se mezclen con el entorno, de igual forma se tiene en cuenta la pantalla HMI, la cual permite el control de los sensores y el tiempo de funcionamiento del equipo, registrando cada prueba en una base de datos.

En conclusión, se demuestra los resultados esperados del proyecto, garantizando que el prototipo cumple con los requerimientos solicitados, así como muestra un completo desarrollo óptimo al momento de realizar las pruebas.

Palabras Clave: Nariz Electrónica, prototipo, HMI, proyecto

Abstract

In the environment, food is usually exposed to different factors that generate a change in its composition. These changes mainly affect their life span and as a result, they begin to emanate gases characteristic of their state of decomposition. This could bring with it different diseases that pose a risk to the health of the people of Ecuador. To this end, a prototype of an Electronic Nose has been developed to measure the quality of food for experimental use, this prototype is composed of multiple sensors which will be activated through an HMI screen, which allows observing the changes produced in food and registers them in a database.

Considering the above, the prototype was developed from materials and components of simple and concrete use, as well as the use of programming environments for the creation of the required application.

The construction of the various chambers that would be immersed in the prototype took place, made from an acrylic material and isolated from the outside, so that the samples obtained do not mix with the environment, in the same way the HMI screen is taken into account, which allows the control of the sensors and the operating time of the equipment, recording each test in a database.

In conclusion, the expected results of the project are demonstrated, guaranteeing that the prototype meets the requested requirements, as well as showing a complete optimal development at the time of testing.

Keywords: Electronic Nose, prototype, HMI, Project

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2. Descripción del Problema.....	2
1.3. Justificación del Problema.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5. Marco Teórico.....	5
1.5.1 Nariz Electrónica.....	5
1.5.2 Sensores de gas.....	12
1.5.3 Microcontrolador.....	14
1.5.4 Lenguajes de programación.....	16
1.5.5 Bases de Datos.....	16
CAPÍTULO II.....	18
2.1 Metodología.....	19

2.2	Análisis de requerimientos	19
2.3	Diseño conceptual del proyecto.....	20
2.4	Selección de alternativa de solución.....	20
2.4.1	Alternativas de solución para sensores de gas	21
2.4.2	Alternativas de solución para microcontrolador	24
2.4.3	Selección de Software de interfaz gráfica.....	26
2.4.4	Selección de material para prototipo.....	28
2.4.5	Integración de soluciones	30
2.5	Proceso de diseño	31
2.6	Diseño electrónico	31
2.6.1	ESP32 Wrover Dev	33
2.6.2	Sensor de gas MQ2	37
2.6.3	Sensor de gas MQ3	38
2.6.4	Sensor de gas MQ4	39
2.6.5	Sensor de gas MQ6	40
2.6.6	Sensor de gas MQ7	41
2.6.7	Sensor de gas MQ8	42
2.6.8	Sensor de gas MQ136	43
2.6.9	Sensor de gas MQ137	44
2.6.10	Sensor de gas MH-Z19B.....	45
2.6.11	Sensor DHT22/AM2302	46
2.6.12	Sensor Figaro KE25	47
2.7	Lectura analógica de sensores	49

2.7.1 Acondicionamiento de sensores MQ	50
2.7.2 Acondicionamiento del sensor Figaro KE25	83
2.7.3 Acondicionamiento de nivel de señal sensores MQ	86
2.7.4 Acondicionamiento de nivel de señal de sensor Figaro KE25.....	87
2.8 Diseño de PCB	88
2.9 Alimentación	91
2.10 Programación de la Interfaz y Microcontrolador	92
2.11 Diseño mecánico	97
2.11.1 Medidas	97
2.11.2 Materiales y propiedades.....	102
2.11.3 Ensamblaje	103
CAPÍTULO III.....	104
3.1 Resultados y análisis.....	105
3.2 Implementación del circuito	105
3.3 Ensamblaje del equipo.....	106
3.4 Programación.....	108
3.4.1 Programación del microcontrolador.....	109
3.4.2 Aplicación de escritorio	110
3.5 Validación y Pruebas	113
3.6 Calibración de sensores	126
3.7 Cotización de rubros	126
CAPÍTULO IV.....	129
4.1 Conclusiones y Recomendaciones	130
4.1.1 Conclusiones	130
4.1.2 Recomendaciones.....	131

Abreviaturas

ADC	Convertidor analógico a digital
BLE	Bluetooth de baja energía
CAN	Red de área del controlador
CPU	Unidad central de procesamiento
CSV	Valores separados por comas
DAC	Convertidor digital a analógico
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
HMI	Interfaz hombre-Máquina
IoT	Internet de las cosas
LED	Diodo emisor de luz
MDF	Tablero de fibra de densidad media
MOX	Semiconductor de óxido metálico
NDIR	Infrarrojo no dispersivo
OTRI	Oficina de transferencia de resultados de investigación
PC	Computadora personal
PWM	Modulación de ancho de pulso
RAM	Memoria de acceso aleatorio
RH	Humedad relativa
ROM	Memoria de solo lectura
SPI	Interfaz periférica serie
UART	Transmisor receptor asíncrono universal
UV	Ultravioleta
WPD	WebPlotDigitizer

Simbología

C ₂ H ₆ O	Alcohol
C ₃ H ₈	Propano
CH ₄	Metano
cm	Centímetros
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DHT22	Sensor de temperatura y humedad relativa
GLP	Gas licuado de petróleo
H ₂	Hidrógeno
H ₂ S	Sulfuro de hidrógeno
KE25	Sensor de oxígeno
mA	Miliamperios
mg/L	Miligramos por litro
MH-Z19B	Sensor de detección de dióxido de carbono
min	Minutos
MQ2	Sensor de detección de propano
MQ3	Sensor de detección de alcohol
MQ4	Sensor de detección de metano
MQ6	Sensor de detección de glp
MQ7	Sensor de detección de monóxido de carbono
MQ8	Sensor de detección de hidrógeno
MQ136	Sensor de detección de sulfuro de hidrógeno

MQ137	Sensor de detección de amoniaco
mV	Milivoltios
NH ₃	Amoniaco
O ₂	Oxígeno
ppm	Partes por millón
s	Segundos
°C	Grados celsius
μF	Microfaradios
Ω	Ohm

Índice de figuras

Figura 1. <i>La nariz electrónica y el sistema del olfato humano</i>	9
Figura 2. <i>Sistema del olfato electrónico</i>	11
Figura 3. <i>Diseño conceptual</i>	20
Figura 4. <i>Proceso de diseño</i>	31
Figura 5. <i>Diseño electrónico en proteus</i>	32
Figura 6. <i>Vista esquemática de diseño electrónico en Proteus</i>	33
Figura 7. <i>ESP32 Wrover Dev</i>	34
Figura 8. <i>Estructura Interna Sensor de Gas Serie MQ</i>	35
Figura 9. <i>Esquema de funcionamiento de sensores semiconductores</i>	36
Figura 10. <i>Sensor MQ2</i>	37
Figura 11. <i>Sensor MQ3</i>	38
Figura 12. <i>Sensor MQ4</i>	39
Figura 13. <i>Sensor MQ6</i>	40
Figura 14. <i>Sensor MQ7</i>	41
Figura 15. <i>Sensor MQ8</i>	42
Figura 16. <i>Sensor MQ136</i>	43
Figura 17. <i>Sensor MQ137</i>	44
Figura 18. <i>Sensor MH-Z19B</i>	45
Figura 19. <i>Sensor DHT22</i>	46
Figura 20. <i>Sensor Figaro KE25</i>	47
Figura 21. <i>Curva característica de sensibilidad del sensor MQ2 en el software WPD</i>	51
Figura 22. <i>Escala de ejes para la curva de sensibilidad del propano</i>	51
Figura 23. <i>Selección de puntos en la curva de sensibilidad del propano (C₃H₈)</i>	52

Figura 24. Ecuación característica y curva de sensibilidad de propano en Excel	52
Figura 25. Script para determinar Ro_{MQ2}	53
Figura 26. Curva característica de sensibilidad del sensor MQ3 en el software WPD.....	55
Figura 27. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del alcohol.....	55
Figura 28. Selección de puntos en la curva de sensibilidad del alcohol (C_2H_6O).....	56
Figura 29. Ecuación característica y curva de sensibilidad de alcohol en Excel	56
Figura 30. Script para determinar Ro_{MQ3}	57
Figura 31. Curva característica de sensibilidad del sensor MQ4 en el software WPD.....	59
Figura 32. Escala de ejes para la curva de sensibilidad del metano.....	59
Figura 33. Selección de puntos en la curva de sensibilidad del metano (CH_4).....	60
Figura 34. Ecuación característica y curva de sensibilidad de metano en Excel	60
Figura 35. Script para determinar Ro_{MQ4}	61
Figura 36. Curva característica de sensibilidad del sensor MQ6 en el software WPD.....	63
Figura 37. Escala de ejes para la curva de sensibilidad de GLP.....	63
Figura 38. Selección de puntos en la curva de sensibilidad del GLP	64
Figura 39. Ecuación característica y curva de sensibilidad del GLP en Excel	64
Figura 40. Script para determinar Ro_{MQ6}	65
Figura 41. Curva característica de sensibilidad del sensor MQ7 en el software WPD.....	67
Figura 42. Escala de ejes para la curva de sensibilidad de CO.....	67
Figura 43. Selección de puntos en la curva de sensibilidad del CO	68
Figura 44. Ecuación característica y curva de sensibilidad de CO en Excel	68
Figura 45. Script para determinar Ro_{MQ7}	69
Figura 46. Curva característica de sensibilidad del sensor MQ8 en el software WPD.....	71
Figura 47. Escala de ejes para la curva de sensibilidad de H.....	71

Figura 48. Selección de puntos en la curva de sensibilidad de H	72
Figura 48. Ecuación característica y curva de sensibilidad de H en Excel	72
Figura 50. Script para determinar Ro_{MQ8}	73
Figura 51. Curva característica de sensibilidad del sensor MQ136 en el software WPD.....	75
Figura 52. Escala de ejes para la curva de sensibilidad de H_2S	75
Figura 53. Selección de puntos en la curva de sensibilidad de H_2S	76
Figura 54. Ecuación característica y curva de sensibilidad de H_2S en Excel	76
Figura 55. Script para determinar Ro_{MQ136}	77
Figura 56. Curva característica de sensibilidad del sensor MQ137 en el software WPD.....	79
Figura 57. Escala de ejes para la curva de sensibilidad de NH_3	79
Figura 58. Selección de puntos en la curva de sensibilidad de NH_3	80
Figura 59. Ecuación característica y curva de sensibilidad de NH_3 en Excel	80
Figura 60. Script para determinar Ro_{MQ137}	81
Figura 61. Curva característica de sensibilidad del sensor KE25 en el software WPD.....	83
Figura 62. Escala de ejes para la curva de sensibilidad de Oxígeno.....	83
Figura 63. Selección de puntos en la curva de sensibilidad de KE25.....	84
Figura 64. Ecuación característica y curva de sensibilidad de Oxígeno en Excel	85
Figura 65. Acondicionamiento de nivel de señal sensores MQ	87
Figura 66. Acondicionamiento de nivel de señal sensor KE25.....	88
Figura 67. Diseño PCB en vista de sombreado.....	89
Figura 68. Generación de archivo PDF del diseño de PCB	90
Figura 69. Fuente de alimentación EVL TPS-0505.....	91
Figura 70. Desarrollo de la aplicación QT Creador.....	93
Figura 71. Diagrama de flujo Pantalla Principal	94
Figura 72. Diagrama de flujo del microcontrolador.....	95

Figura 73. <i>Diagrama de flujo de botones de sensores</i>	96
Figura 74. <i>Base de prototipo</i>	98
Figura 75. <i>Base de sensores</i>	99
Figura 76. <i>Cámara de gases</i>	99
Figura 77. <i>Carcasa de circuitos</i>	99
Figura 78. <i>Mango lateral</i>	100
Figura 79. <i>Agarradera superior</i>	100
Figura 80. <i>Boceto prototipo vista isométrica</i>	100
Figura 81. <i>Renderizado de prototipo</i>	101
Figura 82. <i>Vista explotada de prototipo</i>	101
Figura 83. <i>Vista explotada isométrica de prototipo</i>	103
Figura 84. <i>Implementación de circuito electrónico</i>	105
Figura 85. <i>Corte CNC láser de estructura principal de prototipo</i>	106
Figura 86. <i>Corte CNC láser de base de sensores</i>	107
Figura 87. <i>Vista frontal del prototipo</i>	107
Figura 88. <i>Vista posterior del prototipo</i>	108
Figura 89. <i>Resultados obtenidos por los sensores sin alimento en la cámara</i>	109
Figura 90. <i>Pantalla principal de la aplicación en QT-CREATOR</i>	111
Figura 91. <i>Registro de datos en archivo CSV</i>	113
Figura 92. <i>Equipo en funcionamiento</i>	114
Figura 93. <i>Cámara de obtención de gases a partir del alimento de estudio</i>	114
Figura 94. <i>Toma de datos de equipo con vinagre y bicarbonato de sodio</i>	115
Figura 95. <i>Resultados obtenidos por los sensores con vinagre y bicarbonato de sodio</i>	115
Figura 96. <i>Resultados obtenidos por el sensor de humedad durante la prueba #1</i>	116
Figura 97. <i>Resultados obtenidos por el sensor de temperatura durante la prueba #1</i>	116
Figura 98. <i>Resultados obtenidos por el sensor de Oxígeno durante la prueba #1</i>	117
Figura 99. <i>Resultados obtenidos por el sensor de CO2 durante la prueba #1</i>	117

Figura 100. <i>Exportación de datos obtenidos en archivo .csv de prueba #1</i>	118
Figura 101. <i>Toma de datos de equipo con muestra de pescado</i>	119
Figura 102. <i>Resultados obtenidos por los sensores con muestra de pescad</i>	119
Figura 103. <i>Resultados obtenidos por el sensor de humedad durante la prueba #2</i>	120
Figura 104. <i>Resultados obtenidos por el sensor de temperatura durante la prueba #2</i>	120
Figura 105. <i>Resultados obtenidos por el sensor de Metano durante la prueba #2</i>	121
Figura 106. <i>Resultados obtenidos por el sensor de H₂S durante la prueba #2</i>	121
Figura 107. <i>Resultados obtenidos por el sensor de Amoniacó durante la prueba #2</i>	122
Figura 108. <i>Resultados obtenidos por el sensor de Oxígeno durante la prueba #2</i>	122
Figura 109. <i>Resultados obtenidos por el sensor de Oxígeno durante la prueba #2</i>	123
Figura 110. <i>Exportación de datos obtenidos de la prueba #2 en archivo .csv</i>	124
Figura 111. <i>Procedimiento de calibración en laboratorio ELICROM</i>	125
Figura 112. <i>Resultados de calibración</i>	126

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Algunas empresas que se dedican a la fabricación de narices electrónicas</i>	7
Tabla 2. <i>Evaluación de criterios de alternativas para sensores de gas</i>	22
Tabla 3. <i>Matriz de decisión de alternativas para sensores de gas</i>	23
Tabla 4. <i>Evaluación de criterios de alternativas para microcontrolador</i>	25
Tabla 5. <i>Matriz de decisión de alternativas para microcontrolador</i>	26
Tabla 6. <i>Evaluación de criterios de alternativas para interfaz gráfica</i>	27
Tabla 7. <i>Matriz de decisión de alternativas para interfaz gráfica</i>	28
Tabla 8. <i>Evaluación de criterios de alternativas para material del prototipo</i>	29
Tabla 9. <i>Matriz de decisión de alternativas para material del prototipo</i>	30
Tabla 10. <i>Características de microcontrolador ESP32 Wrover Dev</i>	34
Tabla 11. <i>Características de sensor MQ2</i>	38
Tabla 12. <i>Características de sensor MQ3</i>	39
Tabla 13. <i>Características de sensor MQ4</i>	40
Tabla 14. <i>Características de sensor MQ6</i>	41
Tabla 15. <i>Características de sensor MQ7</i>	42
Tabla 16. <i>Características de sensor MQ8</i>	43
Tabla 17. <i>Características de sensor MQ136</i>	44
Tabla 18. <i>Características de sensor MQ137</i>	45
Tabla 19. <i>Características de sensor MH-Z19B</i>	46
Tabla 20. <i>Características de sensor DHT22</i>	47
Tabla 21. <i>Características de sensor Figaro KE25</i>	48
Tabla 22. <i>Clasificación de sensores y su aplicación</i>	48
Tabla 23. <i>Valores de RoMQ2 obtenidos por monitor serial</i>	54

Tabla 24. Valores de RoMQ3 obtenidos por monitor serial.....	58
Tabla 25. Valores de RoMQ4 obtenidos por monitor serial.....	62
Tabla 26. Valores de RoMQ6 obtenidos por monitor serial.....	66
Tabla 27. Valores de RoMQ7 obtenidos por monitor serial.....	70
Tabla 28. Valores de RoMQ8 obtenidos por monitor serial.....	74
Tabla 29. Valores de RoMQ136 obtenidos por monitor serial.....	78
Tabla 30. Valores de RoMQ137obtenidos por monitor serial.....	82
Tabla 31. Lista de piezas vista explotada isométrica.....	103
Tabla 32. Costo de materiales, diseño e implementación	126
Tabla 33. Costo de calibración realizada por Elicrom.....	127

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

Durante los últimos años, los alimentos han sido analizados mediante diferentes métodos que han permitido diferenciar sus aromas mediante sensores o técnicas cromatográficas, sin embargo, estos procedimientos han tenido diversos problemas por su falta de rapidez analítica, esto es esencial para el control de calidad de los diversos alimentos a analizar.

Es por ello que la nariz electrónica, permite el proceso de obtener la información del alimento con la misma rapidez que la nariz humana, de esta manera el sistema permitirá una mejor clasificación de los alimentos con respecto al aroma que emanan.

El propósito de la nariz electrónica es replicar el sentido del olfato para identificar y categorizar diversas combinaciones de olores. El sistema de nariz electrónica incluye múltiples sensores de gas activos que identifican el aroma y convierten los vapores en señales eléctricas. Los sensores de gas pueden analizar e identificar la "huella" del olor utilizando métodos de análisis de patrones. La nariz electrónica es crucial en el campo de estudio de olores y ha captado gran interés de científicos a nivel global. Los sistemas de detección olfativa electrónica se han utilizado extensamente en sectores como la agricultura, la medicina, la vigilancia ambiental, la seguridad alimentaria, el ejército, la industria cosmética y farmacéutica.

Los estudios previos han aportado de forma notable al desarrollo de las tecnologías de nariz electrónica, de manera que, la investigación se enfoca en dos áreas principales: 1. La creación de un hardware (como el diseño del sensor y el diseño del sistema de control principal) 2. Los procedimientos para la nariz electrónica, como las técnicas de preprocesamiento de datos y de análisis de patrones de olor.

1.2. Descripción del Problema

En ESPOL, en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción actualmente se encuentra un laboratorio correspondiente a la carrera de Ingeniería en

Alimentos, a cargo de la Ph. D. Tania María Guzmán Armenteros, que desarrolla investigación basada en la evaluación del Impacto de la Radiación UV-C y la Impregnación al Vacío en la Poscosecha de Agro productos con tecnologías novedosas no invasivas que no modifiquen la textura y el sabor de la comida.

En dicho proyecto de investigación sólo existen métodos químicos manuales para medir el estado de los productos bajo experimentación, lo cual es lento, engorroso y está sujeto a posibles imperfecciones implícitas en los procedimientos. Los investigadores carecen de un sistema electrónico (una nariz electrónica) capaz de medir una parte de los parámetros de calidad de los experimentos desarrollados sobre los alimentos de forma automática y eficiente, que pueda ser monitoreado desde una PC y guardado en una base de datos.

1.3. Justificación del Problema

La implementación de este proyecto es ideal para la demostración del proyecto de investigación en la evaluación del Impacto de la Radiación UV-C y la Impregnación al Vacío en la Poscosecha de Agro productos dentro del laboratorio de la facultad de alimentos ya que se podrá observar de manera física el funcionamiento de un sistema automatizado orientado al estado en el que se encuentran los alimentos.

Utilizando sistemas embebidos y diferentes sensores de gases se puede lograr implementar un sistema con comunicación USB que sea más económica que los modelos propietarios comercializados y que se pueda reprogramar completamente, sirviendo como prototipo interactivo para el análisis de los diversos alimentos que requiera el proyecto de investigación.

Para la implementación de la nariz electrónica, algunas empresas utilizan sensores costosos y sofisticados para la obtención de datos de los alimentos mientras que el proyecto

planteado busca emplear sensores de bajo costo, que su sistema y aplicación sean intuitivos para que facilite el uso del producto por parte del cliente.

Esto permitirá tener un impacto dentro del control de calidad de los productos debido a que se tendrá un seguimiento constante del estado en el que se encuentren los alimentos, permitiendo analizar los comportamientos y cambios en sus aromas con el paso de las horas. A su vez, se podrá obtener un óptimo desarrollo en el proceso de recolección de datos a partir de un monitoreo constante para de esta manera ir evidenciando las diferentes etapas en las que se encuentra el alimento hasta llegar a su estado de deterioro y putrefacción.

Uno de los principales beneficios es el análisis eficiente y no intrusivo que tienen los diferentes componentes del sistema. Cuando se realiza el estudio en los alimentos, al momento de enfocarse solamente en características que no sean intrusivas en el producto genera que el alimento no tenga contacto alguno con cualquier material que permita que existan en él cambios en su estructura y produzca problemas al momento de realizar dicho análisis. Esto genera un gran beneficio ya que permite un análisis exacto y con poco margen de error cuando se realice el estudio del alimento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar un sistema de medición de calidad de productos alimenticios (Nariz Electrónica) para validar los experimentos del proyecto de investigación en la evaluación del Impacto de la Radiación UV-C y la Impregnación al Vacío en la Poscosecha de Agro productos de FIMCP, mediante el uso de sistemas electrónicos y embebidos, comunicación USB, aplicación HMI en PC y base de datos.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Comparar las diferentes tecnologías del mercado para la selección de los componentes más idóneos.

2. Diseñar el sistema electrónico de medición de los diferentes parámetros fisicoquímicos que validen el estado del alimento de acuerdo con los requisitos del proyecto de investigación.

3. Implementar un prototipo físico de nariz electrónica que albergue el sistema electrónico en su interior de forma tal que permita la medición adecuada de los parámetros reales.

4. Desarrollar la aplicación software de PC de monitoreo mediante una HMI para la visualización y el guardado en base de datos de las mediciones recibidas por comunicación USB de la nariz electrónica.

5. Validar el sistema de nariz electrónica implementado, en un entorno de laboratorio, realizando simulaciones y pruebas reales para comprobar su desempeño, confiabilidad y eficacia.

1.5. Marco Teórico

1.5.1 Nariz Electrónica

El aroma de los alimentos ha sido analizado con métodos de análisis sensorial o cromatográfico. La carencia de velocidad analítica de estas técnicas es un problema en el control de calidad. La nariz electrónica clasifica los distintos alimentos según su aroma al igual que la nariz humana, sin analizar la composición exacta de dicho aroma.

Los primeros diseños de la nariz electrónica se realizaron a partir de los años 60 en donde la compañía Bacharac Inc. realizó la construcción de un dispositivo de nariz electrónica

denominado Sniffer. Este dispositivo contaba con tan sólo un sensor de gas, es por ello que no fue considerado en aquel entonces como un dispositivo apto para nombrarlo como nariz electrónica.

De acuerdo con Stetter y Penrose, en el año 2001 indicaron que en los años 80 Japón comenzó a indagar acerca de la frescura de los pescados para su venta y distribución a los diferentes mercados, esta frescura se la analizaba a través de una matriz de sensores MOX los cuales eran sensores que se enfocaban en semi conductores de óxido metálico, es por ello por lo que varios continentes iniciaron el desarrollo de las matrices de sensores direccionados al reconocimiento de olores.

George Dodd y Krishna Persaud llevaron a cabo la primera publicación sobre las narices electrónicas en 1982, vinculada a las narices electrónicas. Enfocaron sus investigaciones en comprender los fenómenos, procesos biológicos del olfato, empleando un grupo de sensores semiconductores de óxidos de metal, y posteriormente expandieron su alcance a investigaciones sobre sensores fundamentados en polímeros conductivos.

En 1999, se dio una definición del concepto de nariz electrónica por Gardner y Barlett, quienes la describieron como un instrumento con sensores químicos y un sistema de reconocimiento de patrones para analizar y reconocer varios tipos de olores.

Cerca del año 2000 aparece el concepto final de nariz electrónica en donde se lo reconoce como un sistema inteligente. Entre las definiciones más populares de aquella época, destaca la de Gardner y Barlett, estos científicos y analistas de sensores olfativos afirmaron en el año de 1999 que la nariz electrónica es un instrumento que permite comprender una agrupación de sensores químicos ajustados a sensibilidades parcialmente solapadas acoplado a un sistema de reconocimiento de patrones en el cual permite analizar y reconocer diversos aromas simples o complejos.

Estos avances han sido de importancia para la fabricación comercial de diversas narices electrónicas en dónde se las ha direccionado para diferentes usos. Entre las categorías que más resaltan son: uso comercial, seguridad y salud.

Correa et al, aportaron en el año 2005 que en la actualidad algunas empresas que solían enfocarse en el diseño de narices electrónicas han desaparecido debido a que se han fusionado a otras empresas mucho más grandes, o se han dedicado a la especialización de un tipo de sensores o inclusive han desaparecido debido al mercado al que se afrontan.

Con respecto al mercado, Las narices electrónicas en sus inicios fueron desarrollados para poder competir y reemplazar a los paneles de expertos en la clasificación de aromas, debido a que se consideraban demasiado costosos e incluso eran difíciles de transportar, por lo que traía diferentes desventajas consigo y esto podría afectar a la evaluación final del alimento.

Mientras que por otra parte las empresas que iniciaron con la creación de este prototipo de nariz electrónica buscaban minimizar los factores de transporte, dinero y esfuerzo del personal para que funcione correctamente el dispositivo.

Tabla 1

Algunas empresas que se dedican a la fabricación de narices electrónicas.

Empresa	Producto	Característica
Airsense Análisis GMBH	PEN3, i-PEN	Pueden identificar un gas o mezcla de gases.
AlphaMos	Prometheus, Fox y Kronos	Kronos ofrece un análisis cualitativo y cuantitativo de las muestras.
Environics Industry Oy	M90-DI-C, ChemPro 100	La ChemPro 100 detecta agentes químicos de guerra y componentes o materiales industriales tóxicos.

Electronic Sensor Technology	Model 4200 zNose, Model 7100 Benchtop zNose.	Identifican trazos de componentes orgánicos, biológicos y químicos.
INFICON	Smart Chemical Identification System	Analizador de compuestos orgánicos volátiles del medio ambiente.
Scensive Technologies	Bloodhound ST214	Es capaz de cubrir todo tipo de olores.
Technobiochip	Libra Nose	Es compacta y fácil de utilizar.

Cuando se habla del sentido de olfato que tiene una persona, se hace referencia al estímulo que tienen las diferentes moléculas que existen en el aire o inclusive a través de las sustancias volátiles que contienen ciertos alimentos.

El sistema del olfato comienza a partir de la nariz, estos aromas y sensaciones viajan a través del sistema nervioso y finalmente llega al cerebro para ser procesado y evidenciar qué tipo de alimento es y en qué estado se encuentra.

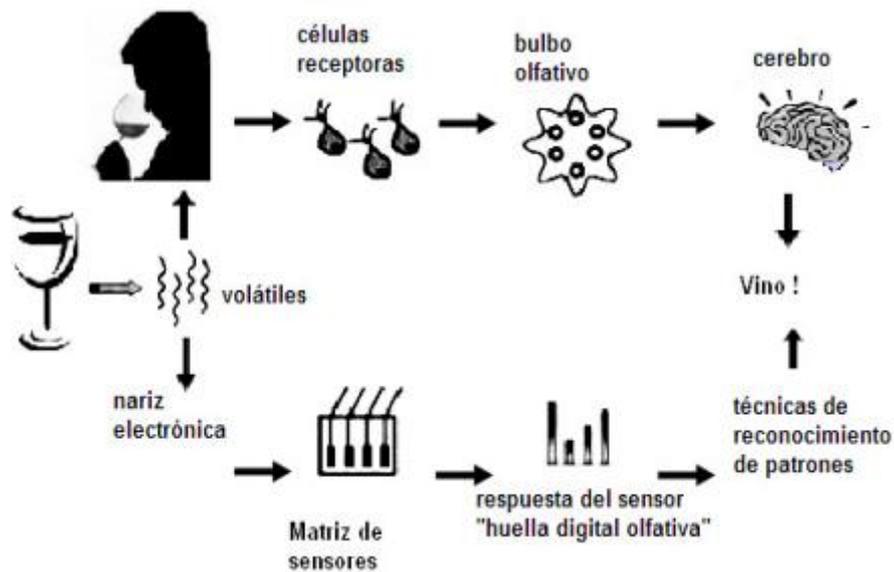
Rodríguez en el 2004 afirmó que en el proceso de olfato se pueden ver implicados las fosas nasales, las neuronas receptoras del olfato, el bulbo olfativo y finalmente el cerebro que en este caso es donde se logra realizar todo el proceso de identificación de un aroma fijo.

Es importante también mencionar que a lo largo de estos años se han ido desarrollando mecanismos más avanzados del sistema del olfato humano, sin embargo, existen todavía ciertos rasgos a comprender.

Hay que tener en cuenta que cada olor que existe en la naturaleza es el resultado de una serie de sustancias químicas que tienen sus propias características las cuales las diferencian de los demás olores que existen a su alrededor.

Figura 1

La nariz electrónica y el sistema del olfato humano



De acuerdo con la imagen presentada anteriormente se puede observar que cada alimento emana ciertas sustancias volátiles las cuales se las irá clasificando de acuerdo al instrumento que se utilice, se tiene un caso de la nariz humana en donde este sistema está compuesto por células receptoras las cuales van a captar el aroma del alimento, luego pasarán al bulbo olfativo en donde se almacenará parte de este olor y de esta manera se la transmitirá al cerebro para poder procesar los diferentes aromas y llegar a una conclusión de qué alimento es el que está oliendo. Mientras que, cuando se emplea la nariz electrónica esta será la encargada de clasificar los olores a través de una matriz de sensores los cuales serán los encargados de verificar y evidenciar qué tipo de compuestos químicos tiene dicho aroma y de esta manera se la clasificará en una huella digital olfativa, a partir de ello se aplicarán técnicas de reconocimiento de patrones a través de código y rangos de olores para identificar el alimento.

Una vez explicada la diferencia entre la nariz humana y una nariz electrónica es importante destacar que la nariz electrónica es capaz de tomar muestras de algún tipo de aroma y de esta manera pueda clasificarla, identificarla e inclusive cuantificarla a través de rangos preestablecidos para diferentes aromas a partir de diferentes sensores. Esto significa que este dispositivo está conformado por varias etapas las cuales son: la etapa de muestreo, la etapa del sistema de detección a través de la matriz de sensores, la etapa de extracción de parámetros fundamentales de la señal que emite el sensor y la etapa de identificación del olor a través de un ordenador a partir del uso de técnicas de reconocimientos de patrones.

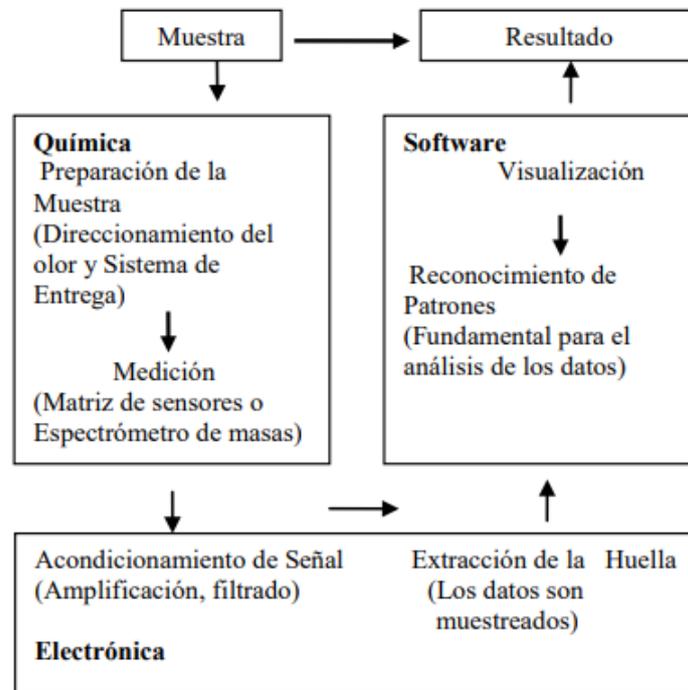
Según Durán en el año 2005 señala que en un sistema de nariz electrónica existen tres módulos en su estructura, el primero es el módulo químico que permite reconocer e identificar la sustancias que están tratando a partir de la medición que realizan los diferentes tipos de sensores; el segundo módulo es el electrónico, el cual se encarga del acondicionamiento de la señal eléctrica que se logra obtener a partir de la salida de los sensores y esto permite obtener los rasgos y características a través de la matriz de sensores; como último módulo se tiene la parte del software el cual se encarga del reconocimiento y visualización de la señal a través del ordenador.

Algunos instrumentos que destacan para el reconocimiento de olores son la cromatografía de gases, espectrómetros de masas, de infrarrojos, etc. Los cuales proporcionan un análisis químico más entendible, incluso cuando son comparados con otros sensores de gas.

A continuación, se detalla una imagen la cual comprende los tres módulos empleados en un sistema de nariz electrónica:

Figura 2

Sistema del Olfato Electrónico



Según Skoog et al. en el año del 2005, mencionó que existe un gran número de métodos para realizar un muestreo de gases, la lección de cada muestreo de gases dependerá de un analito, la palabra analito hace referencia a los diversos componentes que se desean determinar y que existen en una muestra.

Por otra parte, la matriz de la muestra es aquella materia que no es de interés para el análisis a realizar, es decir, en el caso de que se tenga una matriz de aire, esta se elimina cuando la materia en suspensión se recoge a través de un filtro y del método de análisis empleado, es decir hace referencia todo el conjunto de gases que existen dentro de la muestra.

En algunos casos se realiza una preconcentración, esto con la finalidad de que la materia o el gas de interés se transforme en una muestra inclusive más pequeña y concentrada para que los sensores puedan actuar de mejor manera frente a ella. La preconcentración se la realiza

cuando se necesita realizar un análisis de las sustancias de las muestras en cantidades de trazas o micro Trazas dónde la sustancia se encuentra alrededor de 10ppm.

Al momento de hablar de la matriz, se hace referencia a un grupo de sensores los cuales deben encontrarse ubicados en una cámara en donde se garanticen condiciones adecuadas para que permitan la obtención de datos sin alguna interrupción, sin embargo, existen investigaciones y prototipos en donde los sensores no se encuentran colocados en ninguna cámara en especial.

Lo que se quiere obtener a partir del encapsulamiento de los aromas es evitar que ingresen contaminantes al entorno y de igual forma se mantenga la presión y la temperatura del sistema, de esta manera se permite que los sensores trabajen de forma eficiente, captan las medidas necesarias para la obtención de datos y posterior a ello se renueva el aire ubicado en la cámara, esto lo menciona Bosch en el año del 2001.

Todas las investigaciones han demostrado que el sensor no posee una sensibilidad alta para determinar muestras en específico, existen varios sensores mediante las cuales son capaces de responder a una sola muestra y de esta forma entra en funcionamiento lo que es la matriz de sensores debido a que suma las diferentes interacciones que tengan las moléculas volátiles y los diagramas obtenidos a partir de los sensores.

1.5.2 Sensores de gas

De acuerdo con la aplicación de la nariz electrónica, los detectores de gas son dispositivos que identifican la existencia de un gas concreto, pudiendo incluso, en sus modelos más avanzados, detectar la cantidad de ese gas. Existen una variedad de sensores de gas. Son clasificados de acuerdo con el gas que detectan, ya sea tóxico o combustible. En los sensores de gases nocivos se encuentran dos variedades:

Sensores electroquímicos. Operan mediante señales de electrodos al detectar un gas. Normalmente, estos sensores son extremadamente sensibles. Un detector electroquímico tiene un conductor iónico entre un electrodo sensor y un electrodo auxiliar en su diseño. Cuando el electrodo sensor entra en contacto con un gas como el monóxido de carbono, el gas se oxida gracias a una reacción química con las moléculas de agua presentes en el aire. Durante esta reacción, los iones de hidrógeno se desplazan a través del conducto iónico y los electrones se mueven a lo largo de una vía conductora. Se calcula esta corriente para verificar la concentración de gas venenoso en el ambiente.

Sensores semiconductores. Operan con una capa de gas sensible hecha de óxidos de estaño o tungsteno. Cuando se calienta a una temperatura elevada, la capa produce electrones que se mueven libremente en el material, creando corriente. En presencia de aire, estos electrones se unen con oxígeno en la atmósfera, lo que restringe la cantidad de electrones libres disponibles para pasar a través del material detector. Debido a que el monóxido de carbono desplaza el aire, se reduce la combinación de moléculas de oxígeno con electrones, lo que facilita el paso de electrones a través del detector. A mayor cantidad de moléculas de oxígeno, menor será el flujo de corriente disponible. La resistencia del sensor está relacionada con la concentración de gas reductor presente en la atmósfera. Por lo general, los sensores semiconductores se consideran efectivos debido a su capacidad para funcionar en condiciones de humedad baja, a diferencia de los sensores electroquímicos que necesitan humedad para operar. También pueden identificar una amplia gama de gases, como los combustibles. En esta categoría de sensores se incluyen los detectores MQ, que están presentes en varias líneas de productos y detectan distintos gases específicos.

Sensores catalíticos. Este tipo de sensores es utilizado por muchos detectores de gases modernos. Esta tecnología se emplea para identificar gases inflamables como hidrocarburos y opera mediante la oxidación catalítica. Dos bobinas de platino están envueltas en un material

cerámico de aluminio para formar estos sensores. Uno de estos envoltorios tiene una capa de catalizador que causa la oxidación del elemento. Cuando un gas inflamable se encuentra con una superficie catalítica, se produce una reacción de oxidación y el recubrimiento se incrementa con la temperatura.

Sensores infrarrojos. Estos tipos de sensores presentan una alta sensibilidad al momento de detectar los gases, su funcionamiento se centra en la emisión y la recepción de luz infrarroja, esto permite que el consumo de energía del sensor sea bajo. Al momento de activarse el sensor por medio de algún gas suele variar la potencia de transmisión entre el emisor y receptor y por medio de ese cambio, se detecta la presencia del gas.

1.5.3 Microcontrolador

Los proyectos indagados abarcan un microcontrolador que permite el procesamiento de las señales adquiridas a través de la matriz de sensores de la nariz electrónica. Cada microcontrolador seleccionado cumple con un papel específico, estos incluyen una CPU, RAM, ROM, periféricos y puertos de entrada/salida en su diseño integrado. Para llevar a cabo cualquier tarea, el microcontrolador requiere un programa almacenado en la memoria ROM; sin este programa, el microcontrolador carece de funcionalidad. Hoy en día es sencillo y económico conseguir microcontroladores. Arduino es uno de los más empleados. En 2005, en Italia, un estudiante del Instituto IVREA comenzó un proyecto de tesis con la meta de desarrollar herramientas asequibles y sencillas para proyectos digitales. El proyecto consistía en una placa de circuito impreso con un microcontrolador y una librería de funciones basadas en el entorno de Arduino.

En el presente, Arduino se ha convertido en una empresa que se dedica al desarrollo de hardware y software de código abierto, además de diseñar y producir placas de desarrollo de hardware. Las placas más comunes incluyen:

Arduino UNO. Es la placa más utilizada, y por lo tanto la que más documentación e información reúne.

Arduino Micro. Es aquella que contiene la mayor cantidad de documentación e información disponible. Utiliza el ATmega32u4 como base y es considerado uno de los modelos más pequeños.

Arduino Mega 2560. El microcontrolador que utiliza Arduino es el más potente de todos. Perfecto para la creación de robots o para construir impresoras 3D debido a su tamaño compacto y sus numerosas conexiones.

Arduino Mini. Utiliza el microcontrolador ATmega328P como base. Se emplea en lugares donde se requiere la capacidad de Arduino UNO, pero en una versión más compacta.

Arduino Nano. Se trata de la variante más pequeña del Arduino UNO, disminuyendo su consumo de energía y su tamaño. Utiliza un ATmega328 con una velocidad de 16 MHz.

A pesar de que el entorno de Arduino es común mente empleado para el diseño de narices electrónicas económicas, otra posible solución sería añadir un micro controlador denominado ESP32 el cual es ampliamente empleado por diversos proyectos de automatización, debido a que posee conectividad a través de la Red Wi-Fi en la cual permiten manejar múltiples tareas simultáneamente, este tipo de micro controlador es también empleado para proyectos que requieren la gestión de datos en tiempo real y permite una mejor gestión de la información. Cabe mencionar que la ESP32 es considerado el sucesor de la ESP8266 el cual no contaba con comunicación vía Bluetooth o Wi-Fi y a su vez permite una conectividad mucho más rápida y eficiente. Otra ventaja frente a su antiguo modelo es que permite realizar diversos tipos de tareas mientras el dispositivo se encuentre en modo reposo, y esto ha sido de gran utilidad para los diversos proyectos de nariz electrónica a lo largo del tiempo.

1.5.4 Lenguajes de programación

Al momento de utilizar microcontroladores o programas para modelar el sistema en donde trabajaremos los datos obtenidos a partir de los sensores se necesitará programar en cierto lenguaje que permita interpretar dicha información. Un lenguaje de programación es un idioma formal que tiene la finalidad de establecer comandos o secuencias de instrucciones para dirigir el funcionamiento de una computadora. La colección de instrucciones es conocida como software. Arduino emplea un lenguaje que se asemeja al C++. La popularidad de Arduino se debe a su habilidad para programar un microcontrolador utilizando herramientas simples y específicas disponibles en la placa. Utiliza el lenguaje de programación Processing, el cual tiene su origen en Java. Processing resulta muy beneficioso para la transferencia y visualización de información proveniente de Arduino en una computadora. Java es un lenguaje de programación heredado de C y C++, aunque tiene menos funcionalidades de bajo nivel.

1.5.5 Bases de Datos

En la implementación de las narices electrónicas, se han tomado varios programas para poder recolectar las bases de datos de los sensores y de esta manera poder clasificar y observar los diferentes cambios que tienen consigo los alimentos. A continuación, se detallan tres programas previamente empleados para observar los datos obtenidos en los estudios previos:

Excel. En uno de los estudios del control de maduración de frutos utilizando un diseño de nariz electrónica, el código empleado en un Arduino, se utilizó el editor de Visual Studio Code para importar las librerías “serial”, “datetime” y “xlwt” las cuales son útiles para el registro de datos obtenidos a partir de las concentraciones que fueron medidas en tiempo real a través del puerto serial del microcontrolador Arduino. Por medio de estas librerías se pudo crear un archivo Excel en dónde se registra dicho dato junto al tiempo de muestreo que envía

el puerto serial, el archivo fue guardado como un archivo de extensión Python y posteriormente se lo importó como un registro cambiando la extensión de tipo “py” a “xls”.

Matlab. De acuerdo al proyecto de clasificación de compuestos químicos usando una nariz electrónica, se empleó una tarjeta DAQ la cual permitió la recolección de los valores de voltajes de cada uno de los sensores, ajustando un algoritmo para acondicionar la señal y calcular la resistencia muestreada por la tarjeta de adquisición. Este algoritmo genera un almacenamiento de datos en un archivo plano el cual es compatible con el programa de Matlab, en donde permite analizar los datos de la muestra. Por otra parte, la tarjeta NI 6014 está tarjeta emplea un multiplexor para poder evitar que existan colisiones y se pierda la información obtenida. (Liuping Wang, 2020).

LabView. En la implementación y evaluación de una nariz electrónica para la detección del alcohol lineales se emplea una tarjeta de adquisición de datos marca National Instruments el cual se lo conoce como USB 6213, esta tarjeta posee un conversor analógico digital puede tener una resolución de hasta 16 bits. En este proyecto se utilizan varios circuitos de potencia para el control de las diferentes válvulas de paso y la bomba de vacío aplicada a la cámara. la tarjeta se conectó a la entrada del sistema de potencia para que de esta manera se pueda controlar la apertura y el cierre de las válvulas correspondientes a las muestras en fase gas y el gas de referencia que en este caso sería el aire, de igual forma se podía controlar el tiempo de funcionamiento de la bomba. (Paredes-Doig et al., 2016).

El programa antes mencionado, se lo desarrolló en el lenguaje Programación LabView 2010, este programa se desarrolló exclusivamente para la adquisición y el control de los datos obtenidos en el proyecto.

CAPÍTULO II

2.1 Metodología

Para proceder con la realización del presente proyecto, se debe considerar un conjunto de variables que determinarán el resultado final del mismo. Estas variables pueden ser técnicas, económicas y de índice de disponibilidad.

2.2 Análisis de requerimientos

A continuación, se enlistan las especificaciones solicitadas por la cliente PhD. Tania Guzmán:

- El diseño del sistema debe priorizar la simplicidad técnica y el bajo costo de sus elementos.
- Las dimensiones del prototipo deben ser las siguientes: 22 cm de alto, 32 cm de ancho y 22 cm de largo, para permitir una adecuada ubicación de la muestra alimentaria en el interior del equipo.
- La estructura del prototipo debe estar fabricada parcial o totalmente en acrílico transparente, por cuanto este material permitirá observar la muestra del producto en análisis.
- Los gases que serán considerados como variables de estudio en el proyecto serán los siguientes: propano, alcohol, metano, GLP, monóxido de carbono, hidrógeno, amoníaco, dióxido de carbono, oxígeno, y sulfuro de hidrógeno.
- Se requiere realizar un monitoreo periódico del ambiente por lo cual se implementará un sensor de temperatura y humedad.
- Se requiere el desarrollo de una interfaz gráfica en QT Creator que permita la parametrización del dispositivo electrónico y la visualización de los resultados obtenidos, garantizando una interacción intuitiva y eficiente con el usuario.

2.3 Diseño conceptual del proyecto

El diseño conceptual propone un prototipo de nariz electrónica. La interfaz gráfica de escritorio permitirá al usuario ajustar el tiempo e intervalos de monitoreo, habilitar o inhabilitar la adquisición de señales de los sensores de gas y generar una tabla con las concentraciones de las lecturas adquiridas.

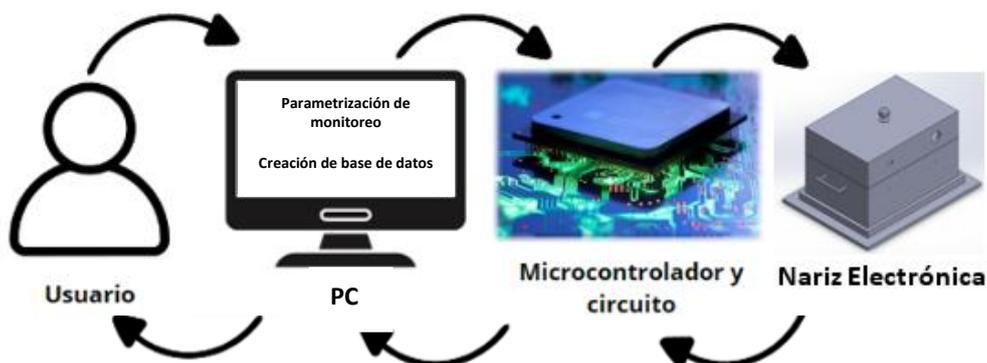
Esta aplicación se comunicará con un microcontrolador que permitirá convertir las señales analógicas de los sensores en datos digitales que éste pueda procesar.

El circuito debe incorporar los componentes electrónicos necesarios para asegurar la correcta recepción de señales analógicas en el microprocesador. La apropiada selección de la fuente de energía que alimentará a los sensores de gas es un aspecto fundamental para garantizar su funcionamiento adecuado y precisión en las mediciones.

A continuación, se presenta el esquema del prototipo con los componentes esenciales para su operación.

Figura 3

Diseño conceptual



2.4 Selección de alternativa de solución

El estudio de las posibles opciones de solución se organizó dividiendo el proyecto en cuatro áreas fundamentales, las cuales, constituirán el sistema de olfato electrónico. La nariz y el cerebro conforman el sistema olfativo biológico. El sistema olfativo electrónico intenta

replicar la configuración del sistema olfativo del ser humano. El proyecto se segmentará en cuatro ejes:

- **Matriz de sensores:** Está formado por los sensores de gases, que permitirán detectar la presencia y concentración de determinados gases en el aire y emitir una señal eléctrica proporcional a dicha concentración.

- **Microcontrolador:** Su función es recibir los valores analógicos emitidos por los sensores de gas, procesarlos y enviarlos al ordenador.

- **Software de programación:** Recibe los datos enviados por el microcontrolador y los presenta en tablas. Además, permitirá realizar la parametrización del periodo de monitoreo y la gestión de sensores activos.

- **Diseño y modelo del prototipo:** Se refiere a la selección de materiales para la implementación del prototipo.

2.4.1 Alternativas de solución para sensores de gas

En esta sección se describen las alternativas de solución fundamentadas en componentes electrónicos que facilitan el desarrollo óptimo del prototipo. Se consideran opciones para sensores de gases, elementos esenciales del circuito a diseñar, que funcionarán como detectores para obtener mediciones de concentraciones.

- **Alternativa 1**

Implementar sensores resistivos, también conocidos como sensores de óxido metálico (MOX), los cuales funcionan mediante el cambio de resistencia de un material semiconductor al interactuar con gases. Al calentarse, los gases reaccionan con el material activo alterando su conductividad eléctrica.

- **Alternativa 2**

Implementar sensores electroquímicos, los cuales detectan gases mediante reacciones químicas que generan una corriente eléctrica proporcional a la concentración del gas. Están compuestos por electrodos y un electrolito, donde el gas reacciona en el electrodo activo.

Una vez determinadas las posibles opciones, se llevó a cabo su análisis de acuerdo con criterios de selección definidos y su respectiva prioridad, como se indica en la Tabla 2. En los apartados siguientes se describen en detalle los parámetros establecidos para este proceso de análisis.

- Precio: Componentes de bajo costo
- Vida útil: Tiempo estimado en el que el dispositivo puede operar de manera segura, eficiente y confiable.
- Facilidad de uso: Analiza la dificultad de instalación en el prototipo y las modificaciones que deben incorporarse al mismo.
- Sensibilidad: Capacidad del sensor para detectar gases en específico.

Tabla 2

Evaluación de criterios de alternativas para sensores de gas

Vida útil > Precio > Sensibilidad > Facilidad de uso						
Criterio	Vida útil	Precio	Sensibilidad	Facilidad de uso	$\Sigma+1$	Ponderación
Vida útil	0	1	1	1	4	0.40
Precio	0	0	1	1	3	0.30
Sensibilidad	0	0	0	1	2	0.20
Facilidad de uso	0	0	0	0	1	0.10

De esta manera se estableció la prioridad de criterios para selección de sensores de gas. Vida útil se consideró primordial, por cuanto el prototipo se empleará para realizar

investigación en laboratorio y debemos garantizar la operatividad continua del sistema durante largos períodos de tiempo, asegurando estabilidad y confiabilidad en su funcionamiento.

En segundo lugar, se priorizó el criterio de precio, dado que el proyecto debe ajustarse estrictamente a un presupuesto establecido, garantizando una adecuada relación costo-beneficio y optimizando los recursos disponibles.

La sensibilidad de los sensores es un factor importante puesto que, es una característica clave que describe la capacidad para detectar la presencia de un gas específico en un entorno determinado.

La facilidad de uso fue contemplada como un criterio debido a que se debe integrar los sensores en la estructura del prototipo.

Tabla 3

Matriz de decisión de alternativas para sensores de gas

Soluciones	Vida útil	Precio	Sensibilidad	Facilidad de uso	Σ	Prioridad
Alternativa #1	0.28	0.21	0.04	0.08	0.61	1
Alternativa #2	0.12	0.09	0.16	0.02	0.39	2

La elección de la alternativa #1 se fundamentó en su mayor ponderación, resultado del análisis basado en los criterios de selección, por cuanto los sensores de gas resistivos son más económicos debido a su diseño más simple y materiales menos costosos, estos tienen una vida útil más prolongada en comparación con los sensores electroquímicos, ya que no dependen de electrolitos líquidos que pueden degradarse con el tiempo. Además, Los sensores resistivos son más robustos frente a variaciones de temperatura y humedad.

2.4.2 Alternativas de solución para microcontrolador

De la misma manera, para elegir el microcontrolador, se analizaron las opciones de dispositivos accesibles en el mercado con las características necesarias para procesar y gestionar las señales analógicas emitidas por los sensores de gas.

- **Alternativa 1**

Hacer uso de Arduino Mega, placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560, diseñada para proyectos de electrónica y programación, con fácil acceso a entradas/salidas.

- **Alternativa 2**

Hacer uso de ESP32 Wrover Dev, microcontrolador de bajo costo, con capacidad Wi-Fi y Bluetooth integradas, ideal para aplicaciones IoT, que ofrece gran rendimiento, flexibilidad y variedad de interfaces de comunicación.

Una vez determinadas las posibles opciones, se llevó a cabo su análisis de acuerdo con criterios de selección definidos y su respectiva prioridad, como se indica en la Tabla 4.

- Precio: Componente de bajo costo en el mercado
- Procesador: Se refiere a potencia de procesador, memoria RAM y velocidad de procesamiento
- Entradas analógicas: Se refiere a la cantidad de pines con ADC para leer señales analógicas.
- Compatibilidad: Qué tan adecuado es este dispositivo para trabajar con los componentes que se emplearán en el prototipo.

Tabla 4*Evaluación de criterios de alternativas para microcontrolador*

Procesador > Precio > Compatibilidad > Entradas analógicas						
Criterio	Procesador	Precio	Compatibilidad	Entradas analógicas	$\Sigma+1$	Ponderación
Procesador	0	1	1	1	4	0.40
Precio	0	0	1	1	3	0.30
Compatibilidad	0	0	0	1	2	0.20
Entradas analógicas	0	0	0	0	1	0.10

De esta manera se estableció la prioridad de criterios para selección del microcontrolador. Procesador se consideró primordial, por cuanto se refiere a la capacidad de ejecutar las instrucciones y cálculos en el microcontrolador. Su velocidad define cuántas operaciones puede realizar por segundo; además, procesadores más potentes pueden manejar mayor capacidad de memoria para almacenar y ejecutar programas más grandes y complejos.

En segundo lugar, se priorizó el criterio de precio puesto que el proyecto debe ajustarse a un presupuesto determinado, asegurando una buena relación entre costo y beneficio, y maximizando el uso de los recursos disponibles.

A continuación, debemos evaluar la compatibilidad del microcontrolador con los sensores de gas, ya que es importante considerar que algunos pueden ser más compatibles con ciertos tipos de controladores.

Las entradas analógicas es otro criterio a considerar puesto que el microcontrolador deberá contar con la cantidad de pines ADC suficientes para leer señales analógicas.

Tabla 5*Matriz de decisión de alternativas para microcontrolador*

Soluciones	Procesador	Precio	Compatibilidad	Entradas analógicas	Σ	Prioridad
Alternativa #1	0.16	0.06	0.14	0.06	0.42	2
Alternativa #2	0.24	0.24	0.06	0.04	0.58	1

La elección de la alternativa #2 se fundamentó en su mayor ponderación, resultado del análisis basado en los criterios de selección, por cuanto el microcontrolador ESP32 Wrover Dev tiene un procesador de doble núcleo que funciona a una frecuencia de hasta 240 MHz, 520 KB de RAM y hasta 16 MB de memoria Flash, mientras que el Arduino Mega tiene un procesador de 8 bits a una frecuencia de 16 MHz, 8 KB de RAM y 256 KB de Flash. Por tanto, el microcontrolador ESP32 Wrover Dev puede ejecutar programas más grandes y manejar datos de manera más eficiente.

2.4.3 Selección de Software de interfaz gráfica

En esta sección se analiza las herramientas de software que se utilizará para crear y diseñar la interfaz HMI, mediante la cual se facilitará la comunicación entre el usuario y el microcontrolador.

- **Alternativa 1**

Crear una aplicación de escritorio utilizando QT Creator, que se instalará en una computadora de escritorio del laboratorio de bioprocesos para llevar a cabo pruebas experimentales con el prototipo de nariz electrónica.

Alternativa 2

Hacer uso de Visual Studio, el cual es un entorno de desarrollo integrado que permite crear interfaces gráficas con herramientas avanzadas.

Una vez determinadas las posibles opciones, se llevó a cabo su análisis de acuerdo con criterios de selección definidos y su respectiva prioridad, como se indica en la Tabla 6.

- Framework integrado: Se refiere a un conjunto de herramientas y bibliotecas predefinidas.
- Multiplataforma: Permite ejecutar aplicaciones en diferentes sistemas operativos simultáneamente.
- Complejidad: Facilidad de programar la interfaz gráfica
- Funcionalidad: Número de acciones y operaciones disponibles para el usuario

Tabla 6

Evaluación de criterios de alternativas para interfaz gráfica

Complejidad > Framework Integrado > Multiplataforma > Funcionalidad						
Criterio	Complejidad	Framework Integrado	Multiplataforma	Funcionalidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Complejidad	0	1	1	1	4	0.40
Framework Integrado	0	0	1	1	3	0.30
Multiplataforma	0	0	0	1	2	0.20
Funcionalidad	0	0	0	0	1	0.10

Se priorizó el criterio de complejidad, puesto que se debe realizar la programación para parametrizar el dispositivo electrónico y visualizar los resultados obtenidos. En segunda instancia, es importante el criterio de framework integrado ya que proporciona componentes y herramientas ya diseñadas, lo que acelera el proceso de desarrollo.

Desarrollar una interfaz gráfica multiplataforma permite que la aplicación sea accesible en diferentes sistemas operativos, como Windows, macOS y Linux, sin necesidad de modificar el código para cada plataforma.

El criterio de funcionalidad, que abarca características adicionales como widgets personalizados que se pueden integrar en la interfaz gráfica para cumplir con necesidades específicas de diseño o funcionalidad, se consideró de menor importancia.

Tabla 7

Matriz de decisión de alternativas para interfaz gráfica

Soluciones	Complejidad	Framework Integrado	Multiplataforma	Funcionalidad	Σ	Prioridad
Alternativa #1	0.24	0.24	0.16	0.08	0.72	1
Alternativa #2	0.16	0.06	0.04	0.02	0.28	2

La elección de la alternativa #1 se fundamentó en su mayor ponderación, resultado del análisis basado en los criterios de selección, por cuanto Qt ofrece ventajas clave sobre Visual Studio en el diseño de interfaces gráficas que permitirá garantizar una interacción intuitiva y eficiente con el usuario como su entorno multiplataforma, que permite crear aplicaciones para diversos sistemas operativos sin modificaciones significativas. Además, su diseñador visual (Qt Designer) facilita el diseño de interfaces mediante la funcionalidad “drag and drop”

2.4.4 Selección de material para prototipo

En esta sección de selección se propondrán alternativas de materiales que permitan construir el equipo de manera óptima, asegurando su durabilidad y robustez a lo largo del tiempo.

- **Alternativa 1**

Utilizar acrílico para la construcción del prototipo.

- **Alternativa 2**

Utilizar MDF para la construcción del prototipo.

Una vez determinadas las posibles opciones, se llevó a cabo su análisis de acuerdo con criterios de selección definidos y su respectiva prioridad, como se indica en la Tabla 8.

- Precio: Materiales de valor accesible.
- Robustez: En cuanto a la estructura y su resistencia, así como su comportamiento frente a factores externos.
- Peso: El peso total del prototipo.
- Funcionalidad: En relación con la compatibilidad de los materiales con los alimentos analizados, así como la facilidad para manipular y ensamblar.

Tabla 8

Evaluación de criterios de alternativas para material del prototipo

Robustez > Funcionalidad > Precio > Peso						
Criterio	Robustez	Funcionalidad	Precio	Peso	$\Sigma+1$	Ponderación
Robustez	0	1	1	1	4	0.40
Funcionalidad	0	0	1	1	3	0.30
Precio	0	0	0	1	2	0.20
Peso	0	0	0	0	1	0.10

La robustez del material en la fabricación del prototipo es crucial porque determina el desempeño, la seguridad, y la durabilidad de la estructura. Además, el prototipo realizará monitoreo durante largos períodos de tiempo.

En segundo lugar, se dio prioridad a la funcionalidad, por cuanto el prototipo debe ser resistente a los líquidos generados por diferentes tipos de alimentos, incluidos aquellos con alto contenido de ácidos, grasas, o sales, para garantizar su durabilidad e higiene.

Es importante considerar el criterio de precio, dado que el proyecto debe ajustarse estrictamente a un presupuesto establecido y para finalizar analizaremos el peso, dado que el prototipo debe ser liviano para facilitar el manejo, transporte e instalación del prototipo.

Tabla 9

Matriz de decisión de alternativas para material del prototipo

Soluciones	Robustez	Funcionalidad	Precio	Peso	Σ	Prioridad
Alternativa #1	0.32	0.24	0.04	0.02	0.62	1
Alternativa #2	0.08	0.06	0.16	0.08	0.38	2

La elección de la alternativa #1 se fundamentó en su mayor ponderación, resultado del análisis basado en los criterios de selección, por cuanto el acrílico es resistente al contacto con líquidos, no se deforma ni se degrada por la exposición a humedad. Además, este material es más duradero en relación al MDF. En términos de costos, se realizó un análisis detallado de ofertas de diversos proveedores para elegir la opción más económica. Se priorizó un balance adecuado entre robustez y livianez, asegurando que el equipo sea fácil de transportar y cómodo de operar para el usuario.

2.4.5 Integración de soluciones

Luego de seleccionar las opciones más adecuadas para cada sección analizada, se integraron en una solución única. Esta propuesta consolidada combina los componentes más

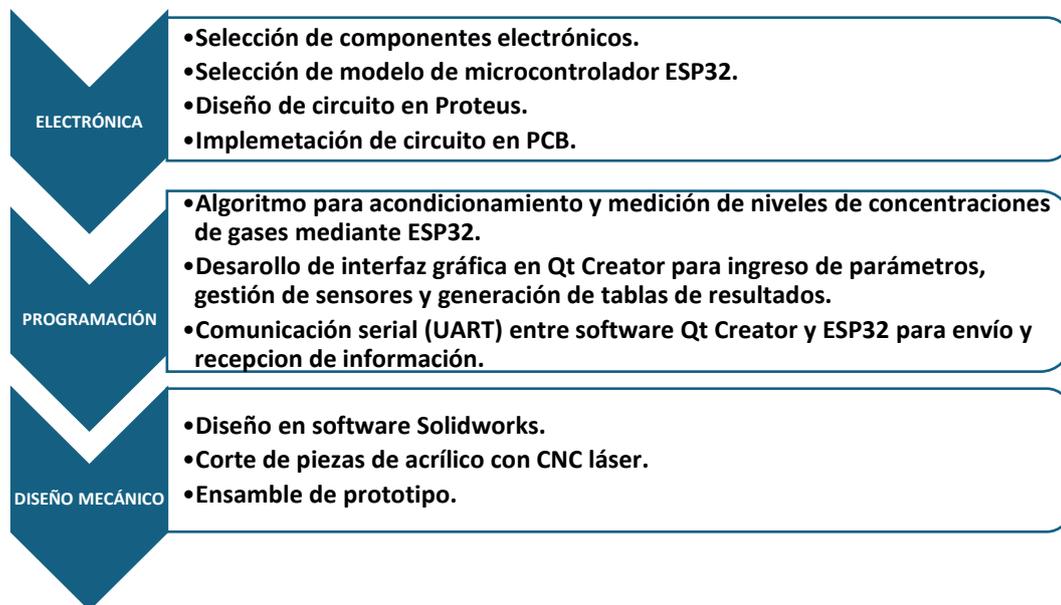
eficientes de cada área, resultando en la creación de un prototipo de nariz electrónica con las siguientes características:

Sensores de gas resistivos que permitirán detectar la presencia y concentración de determinados gases en el aire y emitir una señal eléctrica proporcional a dicha concentración. Utilización de un ESP32 Wrover Dev que permitirá recibir los valores analógicos emitidos por los sensores de gas, procesarlos y enviarlos al ordenador. Aplicación desarrollada en Qt Creator que permitirá realizar la parametrización del periodo de monitoreo, gestión de sensores activos, recibirá los datos enviados por el microcontrolador y los presentará en tablas, y prototipo fabricado en acrílico transparente de 10 mm de espesor con dimensiones específicas solicitadas por el cliente en el apartado de requerimientos del proyecto.

2.5 Proceso de diseño

Figura 4

Proceso de diseño



2.6 Diseño electrónico

Considerando la opción de solución seleccionada, se diseñó el circuito mostrado en la siguiente figura, utilizando los componentes idóneos que aseguren el adecuado funcionamiento y recepción de señales analógicas de los sensores de gas hacia el microcontrolador.

Figura 5

Diseño electrónico en Proteus

DISEÑO DE CIRCUITO NARIZ ELECTRÓNICA

Realizado por:

Carlos Rubén González Suárez

Luis Vicente Alvarez Bolaños

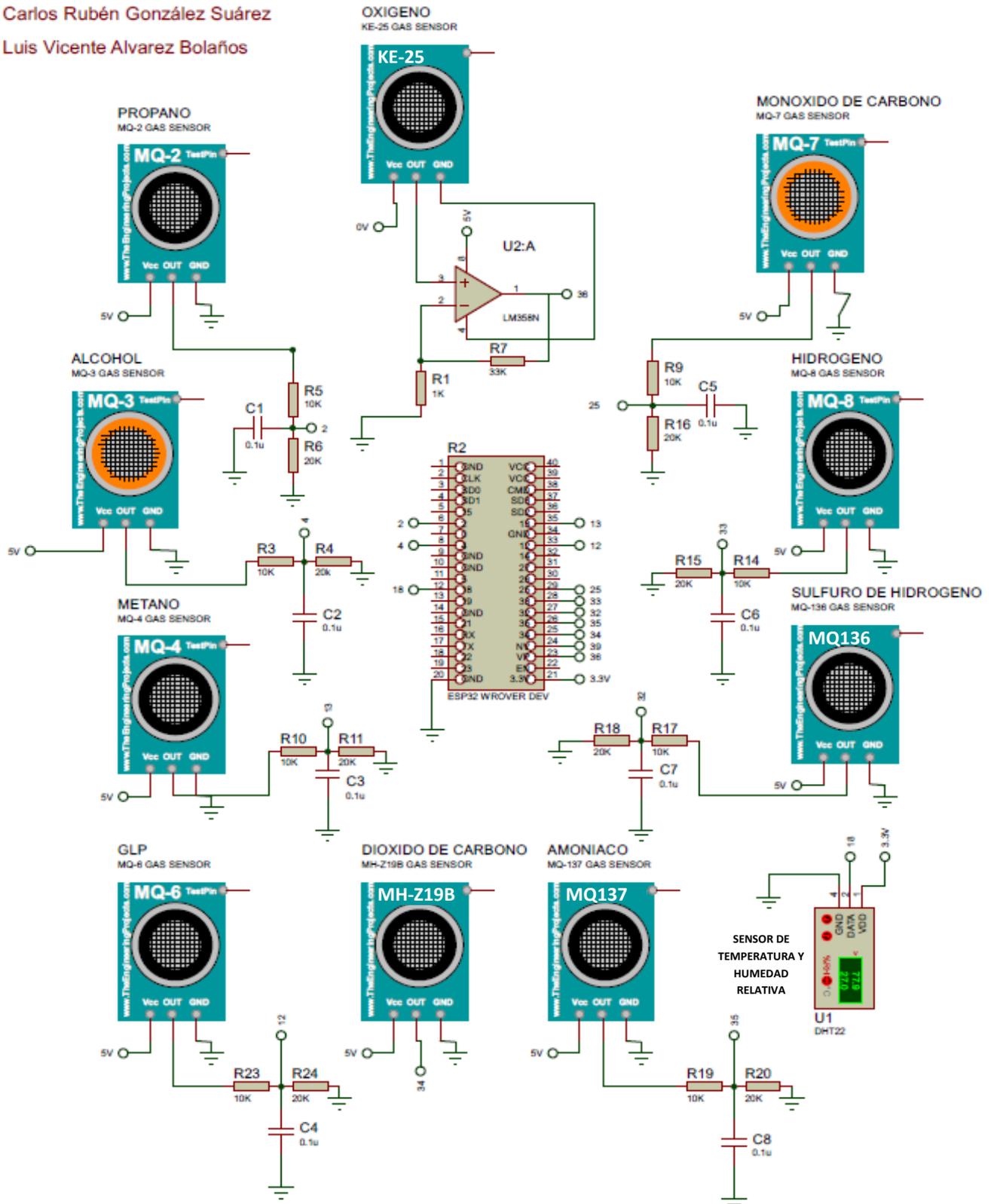
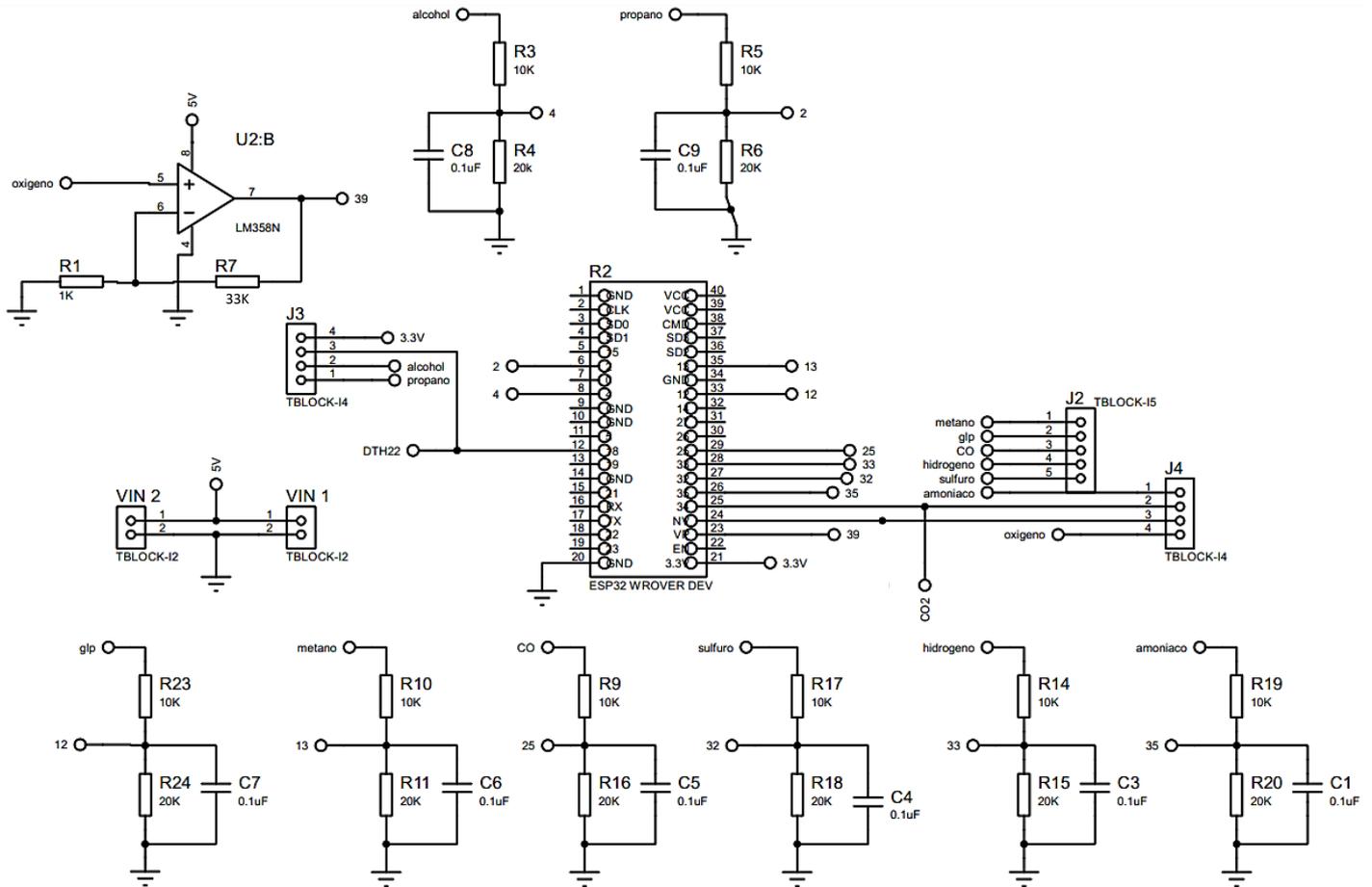


Figura 6

Vista esquemática de diseño electrónico en Proteus



En la ilustración se pueden observar los siguientes componentes con sus características:

2.6.1 ESP32 Wrover Dev

El ESP32-WROVER DEV es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ESP32, que integra un procesador de doble núcleo con capacidades Wi-Fi y Bluetooth. Esta placa se destaca por su alto rendimiento y versatilidad, siendo ideal para aplicaciones de IoT, automatización y comunicación inalámbrica. Cuenta con una gran cantidad de pines GPIO, memoria RAM y soporte para almacenamiento externo mediante tarjetas SD. Además, el ESP32-WROVER DEV incorpora un módulo de cámara opcional, lo que la hace adecuada para proyectos de visión y procesamiento de imágenes.

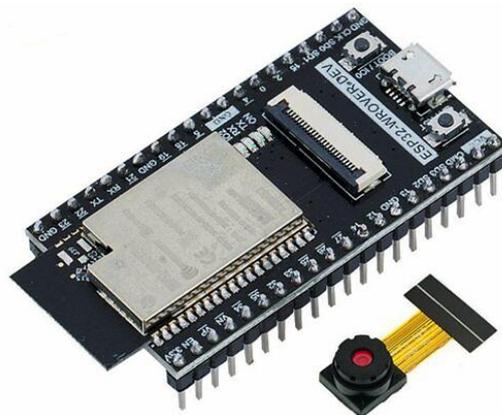
Tabla 10

Características de microcontrolador ESP32 Wrover Dev

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Microcontrolador	Chip ESP32-Wrover-E
Conectividad	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 (BLE)
Velocidad de CPU	Hasta 240 MHz
Memoria RAM	4 MB PSRAM
Memoria Flash	16 MB de memoria Flash
Pines GPIO	38 pines GPIO
Entradas analógicas	12 canales de entrada analógica (ADC)
Salidas analógicas	2 canales de salida analógica (DAC)
Puertos de comunicación	UART, SPI, I2C, I2S, CAN, PWM, SDIO
Alimentación	3.3V (con regulador integrado para 5V)
Dimensiones	Aproximadamente 58.5 x 28.5 mm
Cámara	Cámara OV2640 2 megapíxeles
Interfaz de programación	USB a UART integrado
Corriente de operación	Hasta 400 mA

Figura 7

ESP32 Wrover Dev



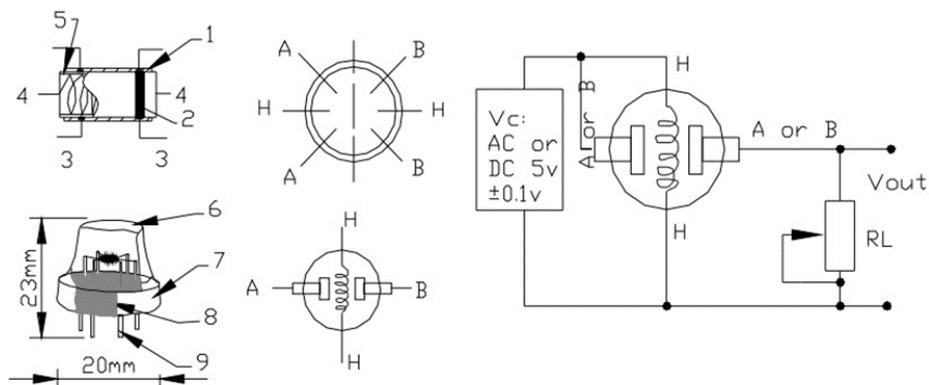
Sensores de gas

Los sensores de gas son dispositivos que perciben la existencia de un gas concreto, y en sus versiones más exactas, pueden identificar la concentración de dicho gas. Existen diversas clases de sensores de gas. Se clasifican en función del tipo de gas que identifican, ya sean estos tóxicos o combustibles. Se ha decidido trabajar con sensores de gas de la serie MQ, en donde se ha indagado que los sensores son de tipo analógico y esto facilitaría su implementación con cualquier tipo de microcontrolador, en este caso el microcontrolador seleccionado es la Esp32

Aparte de ser sensores analógicos, son electroquímicos, esta función permite que el dispositivo varíe su resistencia cuando se encuentra expuesto a ciertos gases, cuando está frente al gas de detección, el sensor puede reaccionar provocando un cambio interno en el valor de la resistencia, esto es posible debido a que posee un calentador que aumenta la temperatura interna del dispositivo. El calentador va a depender bastante del modelo de la serie MQ, en donde podrán necesitar entre un voltaje de 2 a 5 V, como el sensor se va a comportar como una resistencia, necesitará una resistencia adicional de carga R_L para de esta forma poder cerrar el circuito y poder realizar una división de vuelta para posteriormente poder interpretarlo desde un microcontrolador.

Figura 8

Estructura Interna Sensor de Gas Serie MQ



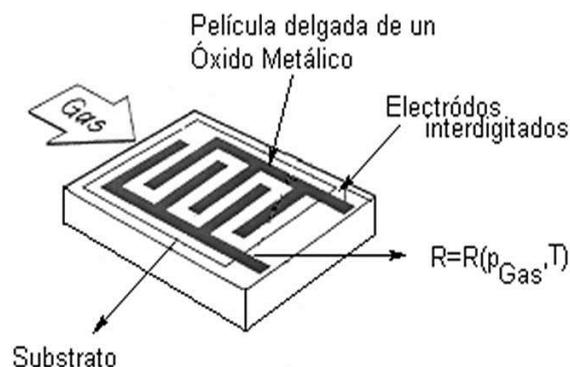
Ya que este componente posee un calentador, será necesario el tomarse un tiempo idóneo de calentamiento, para que de esta forma la salida sea estable y se logre obtener las características que el fabricante pondera en sus datasheets, este tiempo estimado de espera va a depender bastante del modelo que se tenga en disposición, el tiempo puede variar entre 12 a 48 horas.

Dentro del mercado y las tiendas en línea, se suelen encontrar sensores junto con sus módulos, lo que representa una gran ventaja y facilita su uso. Solo se necesita alimentar el módulo y conectar el pin analógico para comenzar a leer los datos del sensor. Sin embargo, estos módulos también poseen una salida digital que, al estar integrada en el módulo, funciona mediante un comparador. Además, al instalar un potenciómetro adicional, es posible calibrar el umbral, permitiendo interpretar la salida digital en función de la presencia o ausencia del gas. Una de las principales diferencias entre los tipos de sensores MQ es su sensibilidad. Esto se debe a que algunos sensores están diseñados para ser más sensibles a ciertos gases que otros. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos sensores siempre detectan más de un tipo de gas, por lo que es necesario revisar cuidadosamente las hojas de datos (datasheets) para seleccionar el sensor más adecuado para la aplicación específica del proyecto.

Sensores semiconductores

Figura 9

Esquema de funcionamiento de sensores semiconductores



Operan con una capa susceptible al gas formada por óxidos de estaño o tungsteno. Una vez alcanzada una temperatura elevada, la capa genera electrones libres que se desplazan por el material, creando así corriente. Cuando hay aire presente, estos electrones se fusionan con oxígeno en la atmósfera, restringiendo la cantidad de electrones libres que se desplazan por el material de detección. Dado que el aire es movido por un gas distinto, como el monóxido de carbono, menos moléculas de oxígeno se unen con los electrones, lo que facilita un mayor flujo de electrones a través del material de detección.

El flujo de corriente se incrementará a medida que menos moléculas de oxígeno se encuentren disponibles. La resistencia del sensor está vinculada con la presencia de gas reductor en el ambiente.

En esta categoría se incluyen los detectores MQ, que están disponibles en diversas series de aparatos donde cada uno identifica uno o más gases concretos.

2.6.2 Sensor de gas MQ2

El sensor MQ-2 será empleado para detectar las concentraciones de propano en el proceso de monitoreo del alimento en estudio, permitiendo una evaluación precisa de los niveles de gas presentes durante la observación.

Figura 10

Sensor MQ2

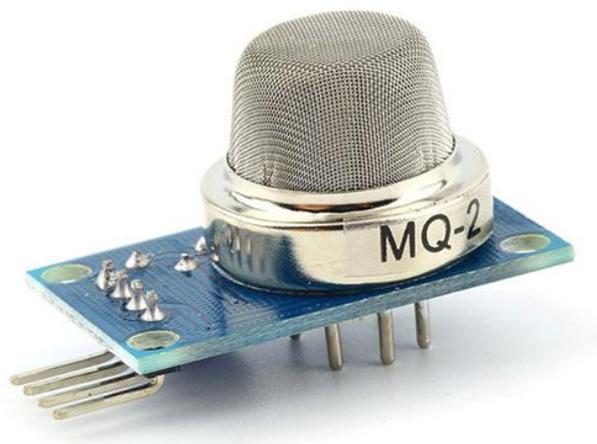


Tabla 11

Características de sensor MQ2

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Semiconductor
Rango de detección de gas	300-10000 ppm
Tensión de operación	5V
Consumo de corriente	180 mA
Tiempo de calentamiento	24 horas
Salida analógica	0-5V(proporcional a concentración del gas)
Salida digital	Señal de encendido/apagado
Sensibilidad	Ajustable mediante un potenciómetro
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	32.5 mm x 22.5 mm x 25 mm
Gases	Propano, alcohol, humo, metano

2.6.3 Sensor de gas MQ3

El sensor MQ-3 será empleado para detectar las concentraciones de alcohol en el proceso de monitoreo del alimento en estudio, permitiendo una evaluación precisa de los niveles de gas presentes durante la observación.

Figura 11

Sensor MQ3



Tabla 12*Características de sensor MQ3*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Semiconductor
Rango de detección de gas	50-500 ppm
Tensión de operación	5V
Consumo de corriente	180 mA
Tiempo de calentamiento	24 horas
Salida analógica	0-5V(proporcional a concentración del gas)
Salida digital	Señal de encendido/apagado
Sensibilidad	Ajustable mediante un potenciómetro
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	32.5 mm x 22.5 mm x 25 mm
Gases	Alcohol, monóxido de carbono, hidrógeno

2.6.4 Sensor de gas MQ4

El sensor MQ-4 será empleado para detectar las concentraciones de metano en el proceso de monitoreo del alimento en estudio, permitiendo una evaluación precisa de los niveles de gas presentes durante la observación.

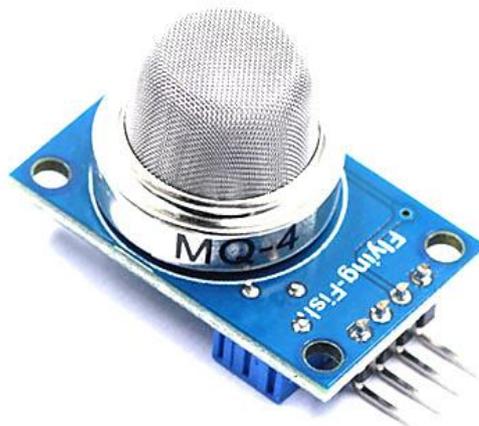
Figura 12*Sensor MQ4*

Tabla 13

Características de sensor MQ4

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Semiconductor
Rango de detección de gas	200-10000 ppm
Tensión de operación	5V
Consumo de corriente	180 mA
Tiempo de calentamiento	24 horas
Salida analógica	0-5V(proporcional a concentración del gas)
Salida digital	Señal de encendido/apagado
Sensibilidad	Ajustable mediante un potenciómetro
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	32.5 mm x 22.5 mm x 25 mm
Gases	GLP, metano, hidrógeno, monóxido de carbono, alcohol, humo

2.6.5 Sensor de gas MQ6

El sensor MQ-6 será empleado para detectar las concentraciones de GLP en el proceso de monitoreo del alimento en estudio, permitiendo una evaluación precisa de los niveles de gas presentes durante la observación.

Figura 13

Sensor MQ6



Tabla 14*Características de sensor MQ6*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Semiconductor
Rango de detección de gas	200-10000 ppm
Tensión de operación	5V
Consumo de corriente	180 mA
Tiempo de calentamiento	24 horas
Salida analógica	0-5V(proporcional a concentración del gas)
Salida digital	Señal de encendido/apagado
Sensibilidad	Ajustable mediante un potenciómetro
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	32.5 mm x 22.5 mm x 25 mm
Gases	GLP, metano, hidrógeno, monóxido de carbono, alcohol

2.6.6 Sensor de gas MQ7

El sensor MQ-7 será empleado para detectar las concentraciones de monóxido de carbono en el proceso de monitoreo del alimento en estudio, permitiendo una evaluación precisa de los niveles de gas presentes durante la observación.

Figura 14*Sensor MQ7*

Tabla 15

Características de sensor MQ7

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Semiconductor
Rango de detección de gas	50-4000 ppm
Tensión de operación	5V
Consumo de corriente	180 mA
Tiempo de calentamiento	24 horas
Salida analógica	0-5V(proporcional a concentración del gas)
Salida digital	Señal de encendido/apagado
Sensibilidad	Ajustable mediante un potenciómetro
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	32.5 mm x 22.5 mm x 25 mm
Gases	Monóxido de carbono, hidrógeno, GLP, metano, alcohol

2.6.7 Sensor de gas MQ8

El sensor MQ-8 será empleado para detectar las concentraciones de hidrógeno en el proceso de monitoreo del alimento en estudio, permitiendo una evaluación precisa de los niveles de gas presentes durante la observación.

Figura 15

Sensor MQ8

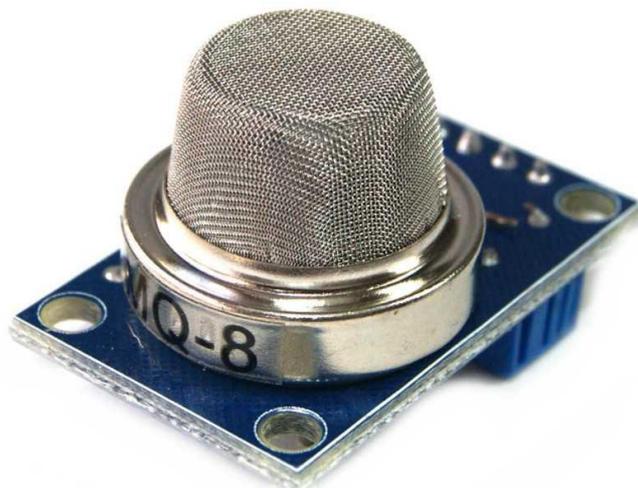


Tabla 16*Características de sensor MQ8*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Semiconductor
Rango de detección de gas	200-10000 ppm
Tensión de operación	5V
Consumo de corriente	180 mA
Tiempo de calentamiento	24 horas
Salida analógica	0-5V(proporcional a concentración del gas)
Salida digital	Señal de encendido/apagado
Sensibilidad	Ajustable mediante un potenciómetro
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	32.5 mm x 22.5 mm x 25 mm
Gases	Hidrógeno, GLP, metano, monóxido de carbono, alcohol

2.6.8 Sensor de gas MQ136

El sensor MQ-136 será empleado para detectar las concentraciones de sulfuro de hidrógeno en el proceso de monitoreo del alimento en estudio, permitiendo una evaluación precisa de los niveles de gas presentes durante la observación.

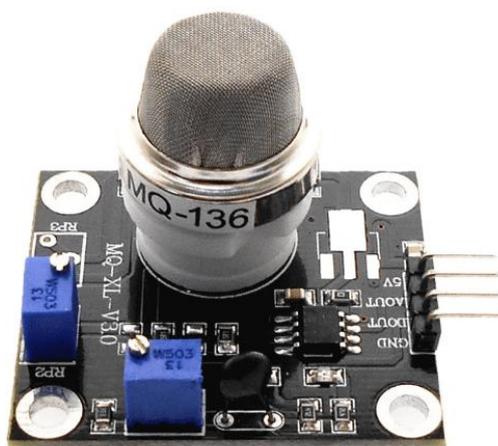
Figura 16*Sensor MQ136*

Tabla 17*Características de sensor MQ136*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Semiconductor
Rango de detección de gas	10-200 ppm
Tensión de operación	5V
Consumo de corriente	180 mA
Tiempo de calentamiento	24 horas
Salida analógica	0-5V(proporcional a concentración del gas)
Salida digital	Señal de encendido/apagado
Sensibilidad	Ajustable mediante un potenciómetro
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	32.5 mm x 22.5 mm x 25 mm
Gases	Sulfuro de hidrógeno, amonio, monóxido de carbono

2.6.9 Sensor de gas MQ137

El sensor MQ-137 será empleado para detectar las concentraciones de amoniaco en el proceso de monitoreo del alimento en estudio, permitiendo una evaluación precisa de los niveles de gas presentes durante la observación.

Figura 17*Sensor MQ137*

Tabla 18*Características de sensor MQ137*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Semiconductor
Rango de detección de gas	1-200 ppm
Tensión de operación	5V
Consumo de corriente	180 mA
Tiempo de calentamiento	24 horas
Salida analógica	0-5V(proporcional a concentración del gas)
Salida digital	Señal de encendido/apagado
Sensibilidad	Ajustable mediante un potenciómetro
Temperatura de operación	-20°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	32.5 mm x 22.5 mm x 25 mm
Gases	Amoniac

2.6.10 Sensor de gas MH-Z19B

El sensor MH-Z19B es un dispositivo de alta precisión diseñado para medir la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el aire. Utiliza la tecnología de infrarrojos no dispersivos (NDIR) para detectar niveles de CO₂, lo que le permite ofrecer mediciones confiables y estables.

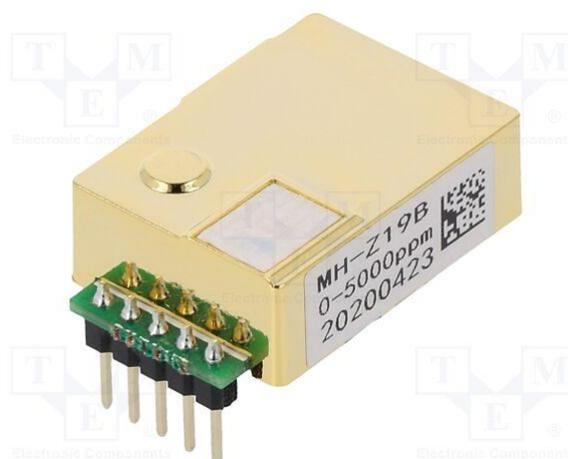
Figura 18*Sensor MH-Z19B*

Tabla 19*Características de sensor MH-Z19B*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Tecnología NDIR (infrarrojos no dispersivos)
Rango de detección de gas	0-5000 ppm
Tensión de operación	4.5V a 5.5V
Consumo de corriente	150 mA
Tiempo de calentamiento	Aproximadamente 3 minutos
Interfaz de Salida	UART / PWM
Nivel de interfaz	3.3V (compatible con 5V)
Calibración	Automática y manual
Temperatura de operación	0°C a 50°C
Humedad de operación	5% a 95% RH (relativa)
Dimensiones	33.5 mm x 20 mm x 9 mm
Gases	Dióxido de carbono

2.6.11 Sensor DHT22/AM2302

El sensor DHT22 es un dispositivo digital utilizado para medir la temperatura y la humedad relativa en el aire. Es conocido por su alta precisión y amplio rango de medición, lo que lo hace ideal para aplicaciones en el monitoreo ambiental. El sensor utiliza un termistor y un higrómetro capacitivo para obtener datos de manera confiable.

Figura 19*Sensor DHT22*

Tabla 20*Características de sensor DHT22*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Digital
Rango de temperatura	-40°C a 80°C
Precisión de temperatura	±0.5°C
Rango de humedad	0% a 100% RH (humedad relativa)
Precisión de humedad	±2-5% RH
Tensión de operación	3.3V a 5.5V
Consumo de corriente	2.5 mA
Salida de señal	Digital (protocolo unidireccional de 1-Wire)
Técnica de detección	Humedad capacitiva y temperatura por resistencia
Tiempo de respuesta	2 segundos para cada medición
Dimensiones	25 mm x 15 mm x 7 mm
Detección	Humedad relativa y temperatura

2.6.12 Sensor Figaro KE25

El sensor de oxígeno KE-25, es un sensor electroquímico ampliamente utilizado en aplicaciones médicas, industriales y ambientales para medir niveles de oxígeno en el aire o en gases específicos. Su diseño compacto y su capacidad de proporcionar lecturas precisas y rápidas lo hacen ideal para dispositivos portátiles y sistemas automatizados.

Figura 20*Sensor Figaro KE25*

Tabla 21*Características de sensor Figaro KE25*

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de sensor	Electroquímico
Rango de medición	0 a 100% de oxígeno
Tensión de operación	No requiere alimentación externa
Voltaje de salida	7-13 mV en aire normal (21% O ₂)
Precisión de detección	±1%
Temperatura de operación	5°C a 50°C
Humedad de operación	10% a 90% RH (humedad relativa)
Tipo de interfaz	Estándar, hexagonal normal
Dimensiones	φ28×47.3mm
Principio de detección	Celda galvánica
Gases	Oxígeno

En consecuencia, procedemos a consolidar la tabla que resume los sensores de gases, las sustancias detectadas y la información adicional referente a los alimentos que liberan un gas específico, de la siguiente manera:

Tabla 22*Clasificación de sensores y su aplicación*

Modelo de sensor	Sustancia Detectada	Alimento
MQ-2	Propano	Alimentos cocinados en grasa
MQ-3	Alcohol	Uvas, Manzanas
MQ-4	Metano	Frutas, carne
MQ-6	GLP	Alimentos cocinados en estufa de gas

MQ-7	Monóxido de Carbono	Carnes curadas o ahumadas
MQ-8	Hidrógeno	Yogurt, pan
MQ-136	Sulfuro de Hidrógeno	Brócoli
MQ-137	Amoniaco	Productos lácteos
MH-Z19B	Dióxido de Carbono	Lentejas
KE-25	Oxígeno	Frutas y hortalizas
Sensor DHT22	Humedad y temperatura	

2.7 Lectura analógica de sensores

En este caso se deberá conectar la salida analógica del módulo del sensor a una entrada analógica de nuestro microcontrolador seleccionado.

La diferencia de emplear una salida digital es que al momento de usar la salida analógica se podrá trabajar con diferentes niveles de concentración de gas y de esta manera se lo podrá escalar de acuerdo a la necesidad de la aplicación del proyecto. Cabe mencionar que, al tratarse de una salida analógica, el código es el mismo para cualquier tipo de sensor MQ con el que se esté trabajando. Es importante señalar que, al disponer de una cámara de calentamiento, el gas utilizado para la toma de datos permanecerá en el sistema durante un periodo prolongado. Esto se debe a que el sensor continuará detectando los residuos de gas que queden en el interior de la cámara del módulo hasta que se disipen por completo. En consecuencia, el tiempo de respuesta será más lento.

2.7.1 Acondicionamiento de sensores MQ

De acuerdo a la aplicación que se va a implementar en el proyecto, se requerirá los valores en unidades correspondientes a la medición de concentración del gas, de esta manera se necesitará escalar el valor leído y se deberá tener en cuenta que la relación entre la lectura analógica y la real no es lineal, por lo tanto, se necesitará estimar la curva que brinda el datasheet del sensor.

En la gráfica log-log de cada curva característica, la relación entre X y Y viene dada por la ecuación potencial:

$$y = k * x^m \quad (2.1)$$

Donde y representa la relación R_s/R_o , x corresponde al valor de concentración del gas, m es el exponente que define la pendiente en la escala log-log y k es una constante.

En términos logarítmicos, la ecuación es la siguiente:

$$\log(y) - b = m * \log(x) \quad (2.2)$$

Nótese que, la escala logarítmica es base 10 y $b = \log(k)$

La fórmula para calcular la pendiente es la siguiente:

$$m = [\log(y_1) - \log(y_0)] / [\log(x_1) - \log(x_0)] \quad (2.3)$$

Para calcular el intercepto con el eje y seleccionamos un punto intermedio de la curva de sensibilidad característica del gas en estudio y se evaluará la siguiente ecuación:

$$b = \log(y) - m * \log(x) \quad (2.4)$$

Considerando que R_s representa la resistencia variable del sensor y R_o es la resistencia del sensor en aire limpio, tenemos que:

$$R_s = \left(\left(\frac{VCC}{VRL} \right) - 1 \right) * RL \quad (2.5)$$

$$Ratio = \frac{R_s}{R_o} \quad (2.6)$$

Procedemos a despejar la variable independiente de la ecuación 2.2 obteniendo así la fórmula correspondiente para determinar la concentración en ppm:

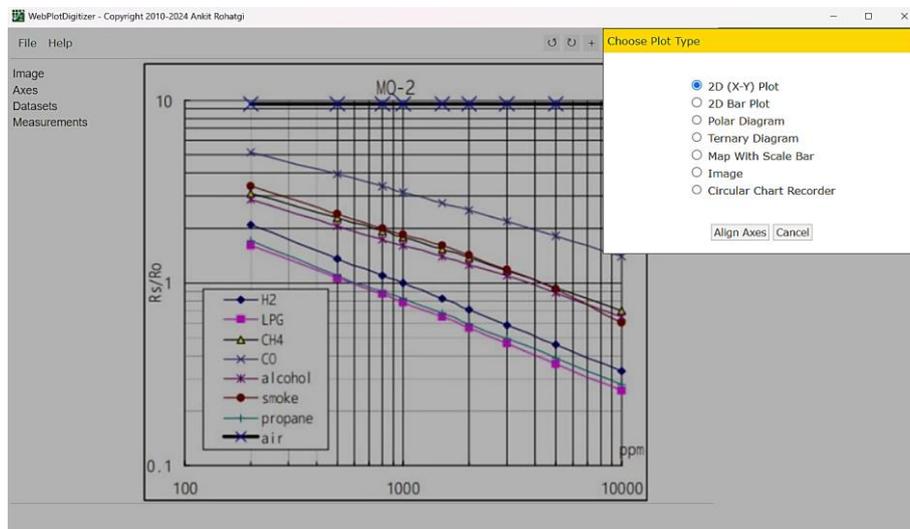
$$ppm = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio) - b}{m} \right)} \quad (2.7)$$

Acondicionamiento del sensor MQ2 para la detección de Propano (C₃H₈)

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor MQ2, ubicada en la figura 01 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 21

Curva característica de sensibilidad del sensor MQ2 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 22

Escala de ejes para la curva de sensibilidad del propano

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

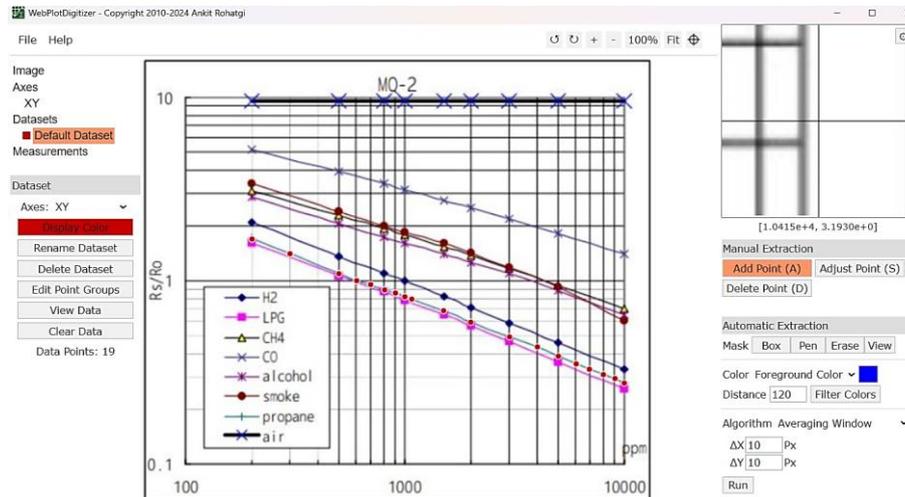
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="10000"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	<input type="text" value="0.1"/>	<input type="text" value="10"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al gas propano (C₃H₈) que detectará el sensor MQ2

Figura 23

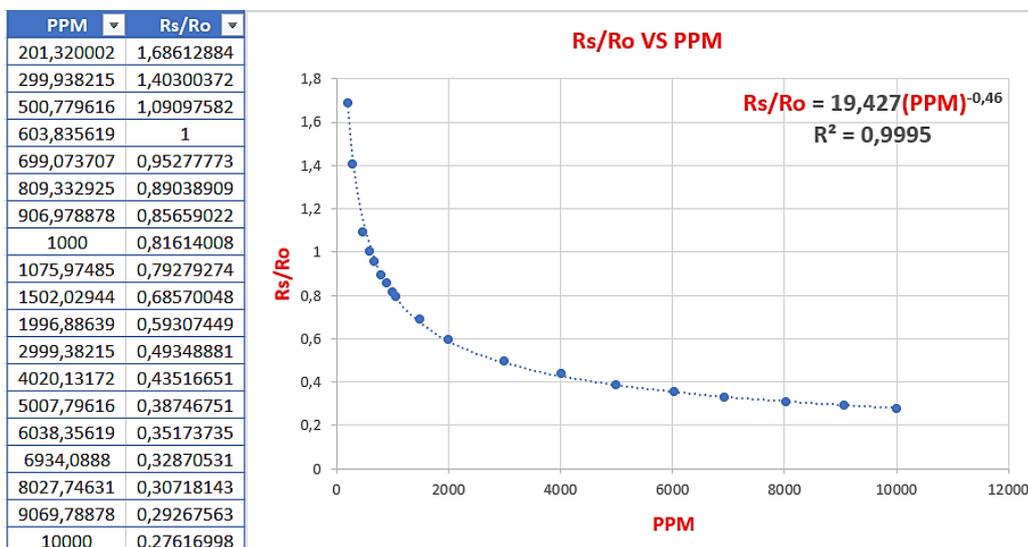
Selección de puntos en la curva de sensibilidad del propano (C₃H₈)



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del propano; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV; seleccionamos la tabla de valores alojada en la hoja de datos y generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción “potencial” y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 24

Ecuación característica y curva de sensibilidad de propano en Excel



Nótese que, de la curva característica de sensibilidad del sensor MQ2, ubicada en la figura 01 del anexo A, podemos evidenciar el valor de la relación del sensor (R_s/R_o) en aire.

$$\frac{R_{sMQ2}}{R_{oMQ2}} = 9.62$$

Además, el valor de resistencia de carga del sensor corresponde a:

$$R_{LMQ2} = 9290.0 \Omega$$

Debemos aplicar la fórmula de divisor de tensión para determinar el valor de R_s

$$R_{sMQ2} = \left(\left(\frac{VCC}{V_{RLMQ2}} \right) - 1 \right) * R_{LMQ2}$$

Aclarar que utilizaremos un script en el cual determinaremos en primera instancia R_{sMQ2} y luego R_{oMQ2} mediante monitor serial en arduino IDE

Figura 25

Script para determinar R_{oMQ2}

```

Ro.ino
1  #define PIN_MQ2 2
2  #define RL_MQ2 9290.0
3  #define VCC 3.3
4  #define resolucion 4095.0
5  float adc_MQ2 = 0;
6  float VRL_MQ2 = 0;
7  float Rs_MQ2 = 0;
8  float Ro_MQ2 = 0;
9
10 void setup()
11 {
12   Serial.begin(115200);
13   pinMode(PIN_MQ2, INPUT);
14 }
15
16 void loop()
17 {
18   adc_MQ2 = analogRead(PIN_MQ2);
19   VRL_MQ2 = adc_MQ2 * (VCC/resolucion);
20   Rs_MQ2 = ((VCC/VRL_MQ2)-1)*RL_MQ2;
21   Ro_MQ2=Rs_MQ2/9.62;
22   Serial.println(Ro_MQ2);
23   delay(1000);
24 }

```

Tabla 23

Valores de Ro_{MQ2} obtenidos por monitor serial

Ro_{MQ2}
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10
6773.10

A continuación, determinamos el valor promedio de Ro_{MQ2}

$$Ro_{MQ2} = 6773.10 \Omega$$

Por otra parte, determinamos la fórmula correspondiente para la concentración de gas en ppm en función de la relación de resistencias del sensor.

En nuestro caso, elegimos los puntos (201.32, 1.686) y (10000, 0.276) de la curva de sensibilidad característica del propano para determinar la pendiente.

Aplicando la ecuación 2.3 tenemos que:

$$m = [\log(0.276) - \log(1.686)] / [\log(10000) - \log(201.32)]$$

$$m = -0.463382128$$

Para determinar el intercepto, elegimos el punto (1502.029, 0.686) y lo evaluamos en la ecuación 2.4

$$b = \log(0.686) - (-0.463382128) * \log(1502.029)$$

$$b = 1.308340076$$

Reemplazando el valor de pendiente e intercepto en la ecuación 2.7 tenemos que la expresión para la concentración del gas expresado en ppm será:

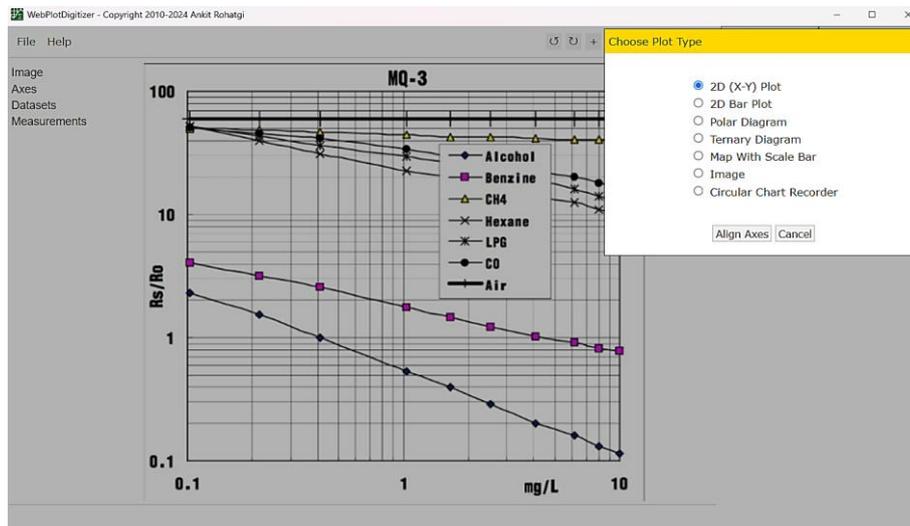
$$ppm_{MQ2} = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio_{MQ2}) - 1.308340076}{-0.463382128}\right)}$$

Acondicionamiento del sensor MQ3 para la detección de Alcohol (C₂H₆O)

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor MQ3, ubicada en la figura 02 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 26

Curva característica de sensibilidad del sensor MQ3 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 27

Escala de ejes para la curva de sensibilidad del alcohol

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-axis

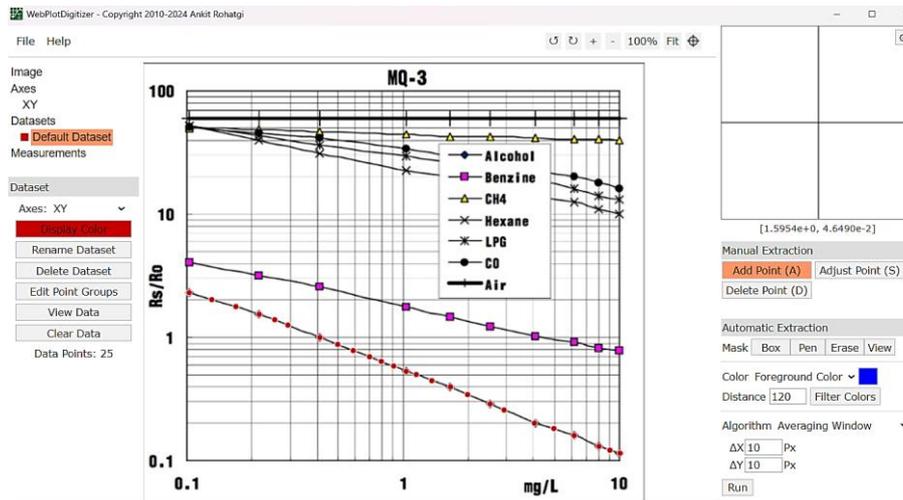
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	0.1	10	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	0.1	100	<input checked="" type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al alcohol (C_2H_6O) que detectará el sensor MQ3.

Figura 28

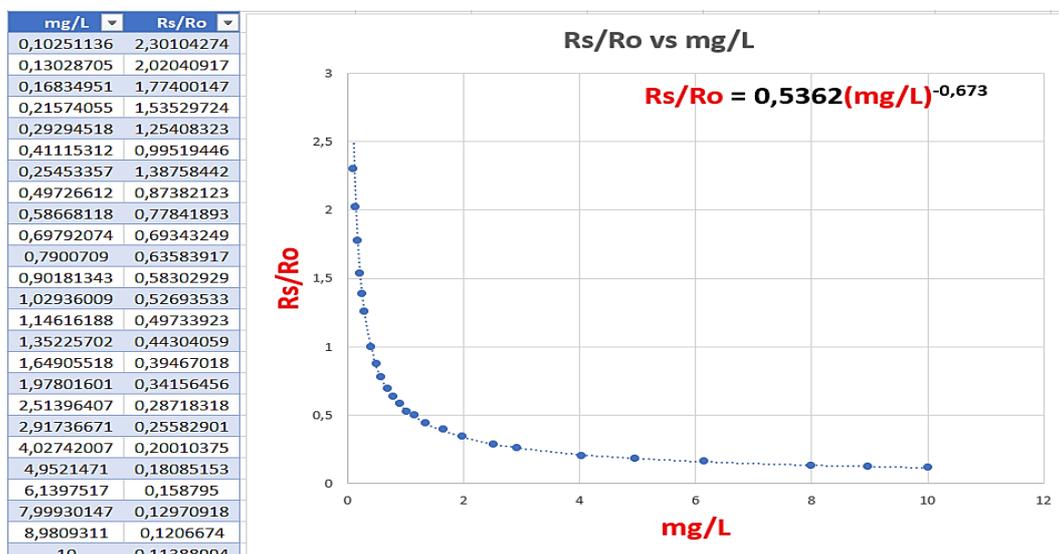
Selección de puntos en la curva de sensibilidad del alcohol (C_2H_6O)



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del alcohol; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV; seleccionamos la tabla de valores alojada en la hoja de datos y generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción “potencial” y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 29

Ecuación característica y curva de sensibilidad del alcohol en Excel



Nótese que, de la curva característica de sensibilidad del sensor MQ3, ubicada en la figura 02 del anexo A, podemos evidenciar el valor de la relación del sensor (R_s/R_o) en aire.

$$\frac{R_{sMQ3}}{R_{oMQ3}} = 60$$

Además, el valor de resistencia de carga del sensor corresponde a:

$$R_{L_{MQ3}} = 14800.0 \Omega$$

Debemos aplicar la fórmula de divisor de tensión para determinar el valor de R_s

$$R_{sMQ3} = \left(\left(\frac{VCC}{V_{RL_{MQ3}}} \right) - 1 \right) * R_{L_{MQ3}}$$

Aclarar que utilizaremos un script en el cual determinaremos en primera instancia R_{sMQ3} y luego R_{oMQ3} mediante monitor serial en arduino IDE.

Figura 30

Script para determinar R_{oMQ3}

```

Ro.ino
1  #define PIN_MQ3 4
2  #define RL_MQ3 14800.0
3  #define VCC 3.3
4  #define resolucion 4095.0
5  float adc_MQ3 = 0;
6  float VRL_MQ3 = 0;
7  float Rs_MQ3 = 0;
8  float Ro_MQ3 = 0;
9
10 void setup()
11 {
12   Serial.begin(115200);
13   pinMode(PIN_MQ3, INPUT);
14 }
15
16 void loop()
17 {
18   adc_MQ3 = analogRead(PIN_MQ3);
19   VRL_MQ3 = adc_MQ3 * (VCC/resolucion);
20   Rs_MQ3 = ((VCC/VRL_MQ3)-1)*RL_MQ3;
21   Ro_MQ3=Rs_MQ3/1;
22   Serial.println(Ro_MQ3);
23   delay(1000);
24 }

```

Tabla 24

Valores de $R_{O_{MQ3}}$ obtenidos por monitor serial

$R_{O_{MQ3}}$
991.20
991.20
989.69
991.20
989.69
991.20
991.20
991.20
989.69
989.69
991.20
991.20

A continuación, determinamos el valor promedio de $R_{O_{MQ3}}$

$$R_{O_{MQ3}} = 990.70 \Omega$$

Por otra parte, determinamos la fórmula correspondiente para la concentración de gas en ppm en función de la relación de resistencias del sensor.

En nuestro caso, elegimos los puntos (0.103, 2.301) y (10, 0.114) de la curva de sensibilidad característica del alcohol para determinar la pendiente.

Aplicando la ecuación 2.3 tenemos que:

$$m = [\log(0.114) - \log(2.301)] / [\log(10) - \log(0.103)]$$

$$m = -1.099498295$$

Para determinar el intercepto, elegimos el punto (0.902, 0.583) y lo evaluamos en la ecuación 2.4

$$b = \log(0.583) - (-1.099498295) * \log(0.902)$$

$$b = 0.533680177$$

Reemplazando el valor de pendiente e intercepto en la ecuación 2.7 tenemos que la expresión para la concentración del gas expresado en ppm será:

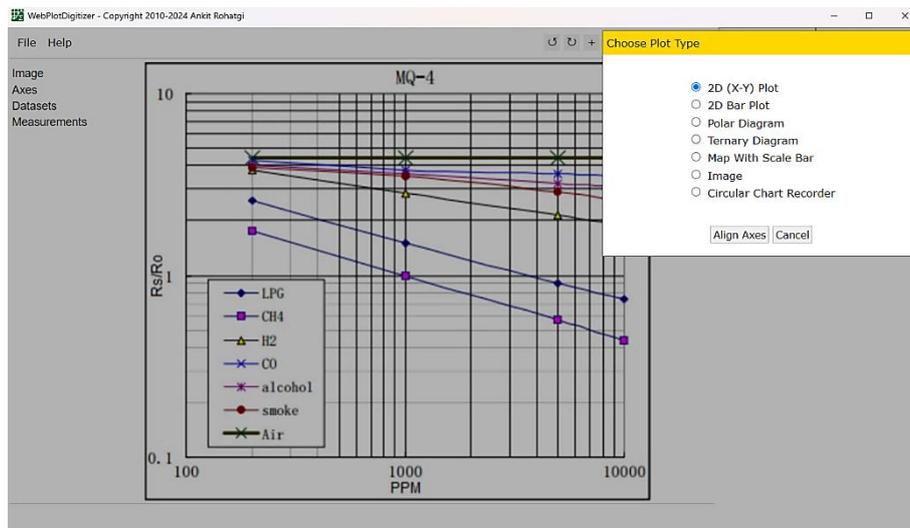
$$ppm_{MQ3} = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio_{MQ3}) - 0.533680177}{-1.099498295}\right)}$$

Acondicionamiento del sensor MQ4 para la detección de Metano (CH₄)

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor MQ4, ubicada en la figura 03 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 31

Curva característica de sensibilidad del sensor MQ4 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 32

Escala de ejes para la curva de sensibilidad del metano

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

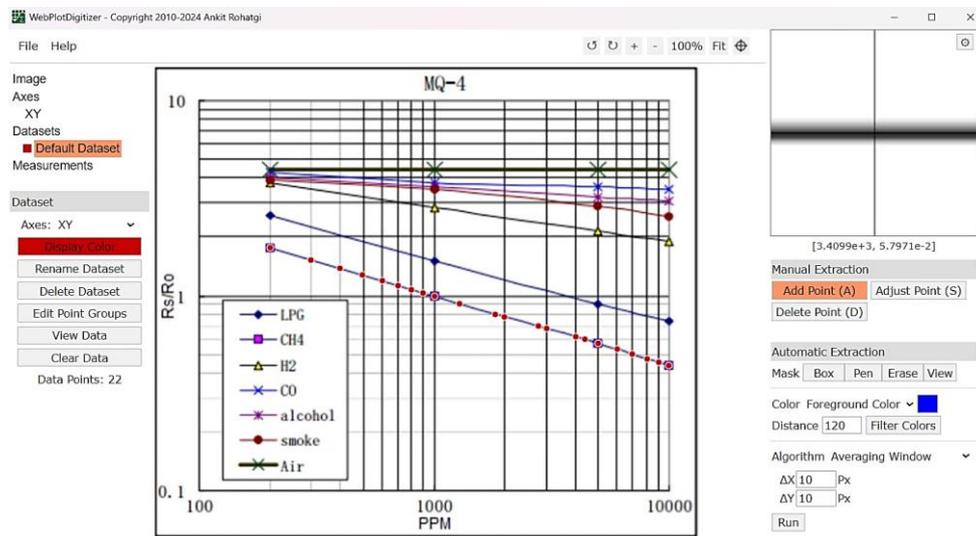
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="10000"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	<input type="text" value="0.1"/>	<input type="text" value="10"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al metano (CH₄) que detectará el sensor MQ4.

Figura 33

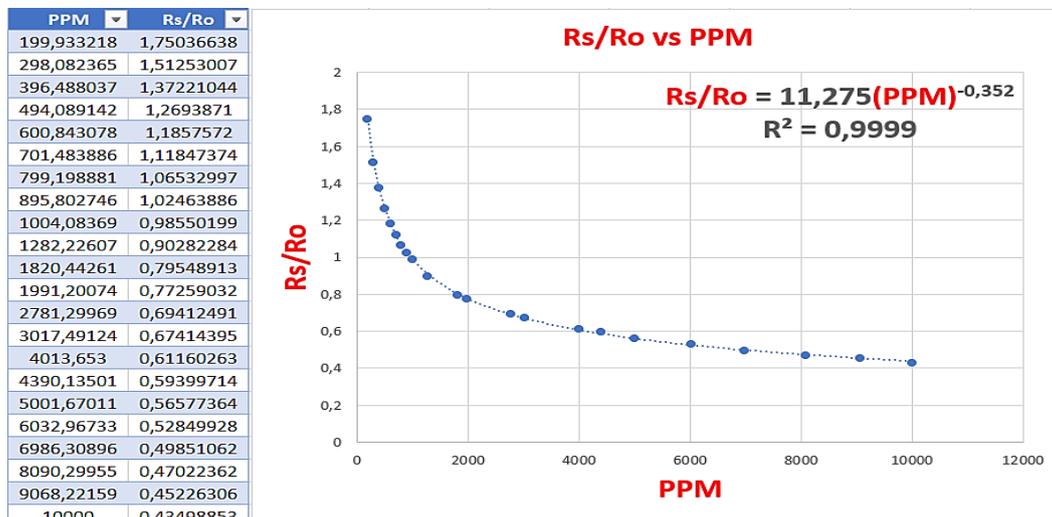
Selección de puntos en la curva de sensibilidad del metano (CH₄)



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del metano; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV; seleccionamos la tabla de valores alojada en la hoja de datos y generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción “potencial” y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 34

Ecuación característica y curva de sensibilidad del metano en Excel



Nótese que, de la curva característica de sensibilidad del sensor MQ4, ubicada en la figura 03 del anexo A, podemos evidenciar el valor de la relación del sensor (R_s/R_o) en aire.

$$\frac{R_{sMQ4}}{R_{oMQ4}} = 4.45$$

Además, el valor de resistencia de carga del sensor corresponde a:

$$R_{L_{MQ4}} = 29800.0 \Omega$$

Debemos aplicar la fórmula de divisor de tensión para determinar el valor de R_s

$$R_{sMQ4} = \left(\left(\frac{VCC}{V_{RL_{MQ4}}} \right) - 1 \right) * R_{L_{MQ4}}$$

Aclarar que utilizaremos un script en el cual determinaremos en primera instancia R_{sMQ4} y luego R_{oMQ4} mediante monitor serial en arduino IDE.

Figura 35

Script para determinar R_{oMQ4}

```

Ro.ino
1  #define PIN_MQ4 13
2  #define RL_MQ4 29800.0
3  #define VCC 3.3
4  #define resolucion 4095.0
5  float adc_MQ4 = 0;
6  float VRL_MQ4 = 0;
7  float Rs_MQ4 = 0;
8  float Ro_MQ4 = 0;
9
10 void setup()
11 {
12   Serial.begin(115200);
13   pinMode(PIN_MQ4, INPUT);
14 }
15
16 void loop()
17 {
18   adc_MQ4 = analogRead(PIN_MQ4);
19   VRL_MQ4 = adc_MQ4 * (VCC/resolucion);
20   Rs_MQ4 = ((VCC/VRL_MQ4)-1)*RL_MQ4;
21   Ro_MQ4=Rs_MQ4/4.45;
22   Serial.println(Ro_MQ4);
23   delay(1000);
24 }

```

Tabla 25

Valores de R_{OMQ4} obtenidos por monitor serial

R_{OMQ4}
10915.89
10915.89
10915.89
10938.55
10927.21
10927.21
10927.21
10938.55
10938.55
10938.55
10938.55
10938.55
10915.89

A continuación, determinamos el valor promedio de R_{OMQ4}

$$R_{OMQ4} = 10928.16 \Omega$$

Por otra parte, determinamos la fórmula correspondiente para la concentración de gas en ppm en función de la relación de resistencias del sensor.

En nuestro caso, elegimos los puntos (199.933, 1.750) y (10000, 0.435) de la curva de sensibilidad característica del metano para determinar la pendiente.

Aplicando la ecuación 2.3 tenemos que:

$$m = [\log(0.435) - \log(1.750)] / [\log(10000) - \log(199.933)]$$
$$m = -0.355862403$$

Para determinar el intercepto, elegimos el punto (1820.442 , 0.795) y lo evaluamos en la ecuación 2.4

$$b = \log(0.795) - (-0.355862403) * \log(1820.442)$$
$$b = 1.060808668$$

Reemplazando el valor de pendiente e intercepto en la ecuación 2.7 tenemos que la expresión para la concentración del gas expresado en ppm será:

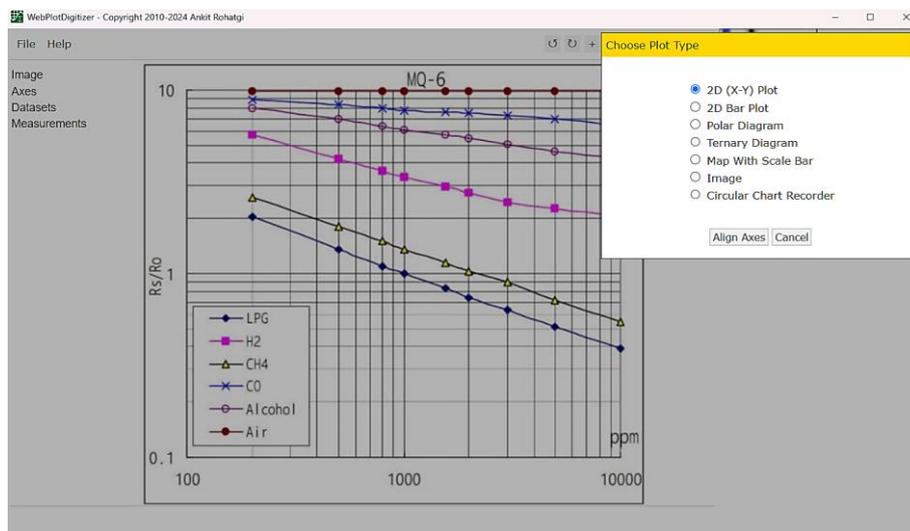
$$ppm_{MQ4} = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio_{MQ4}) - 1.060808668}{-0.355862403}\right)}$$

Acondicionamiento del sensor MQ6 para la detección de GLP

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor MQ6, ubicada en la figura 04 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 36

Curva característica de sensibilidad del sensor MQ6 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 37

Escala de ejes para la curva de sensibilidad de GLP

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

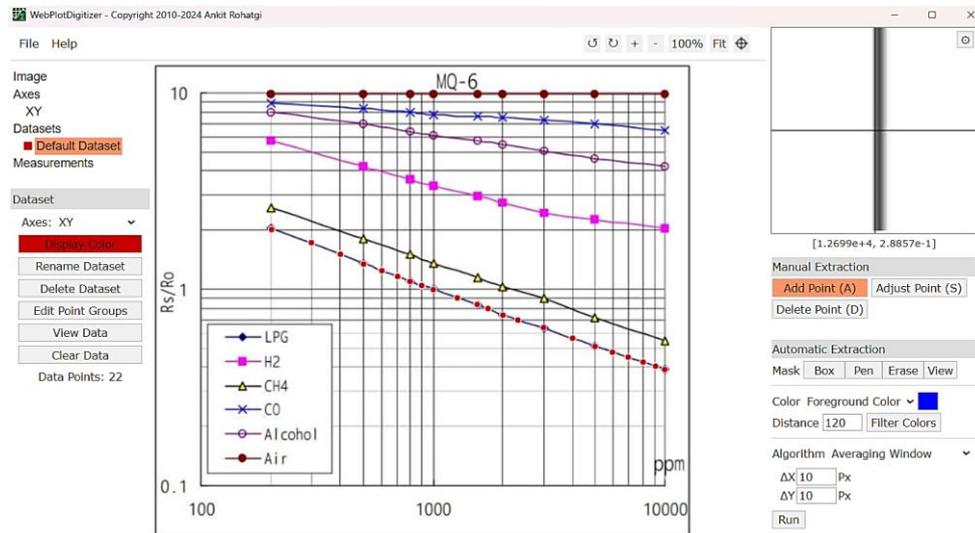
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="10000"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	<input type="text" value="0.1"/>	<input type="text" value="10"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al GLP que detectará el sensor MQ6.

Figura 38

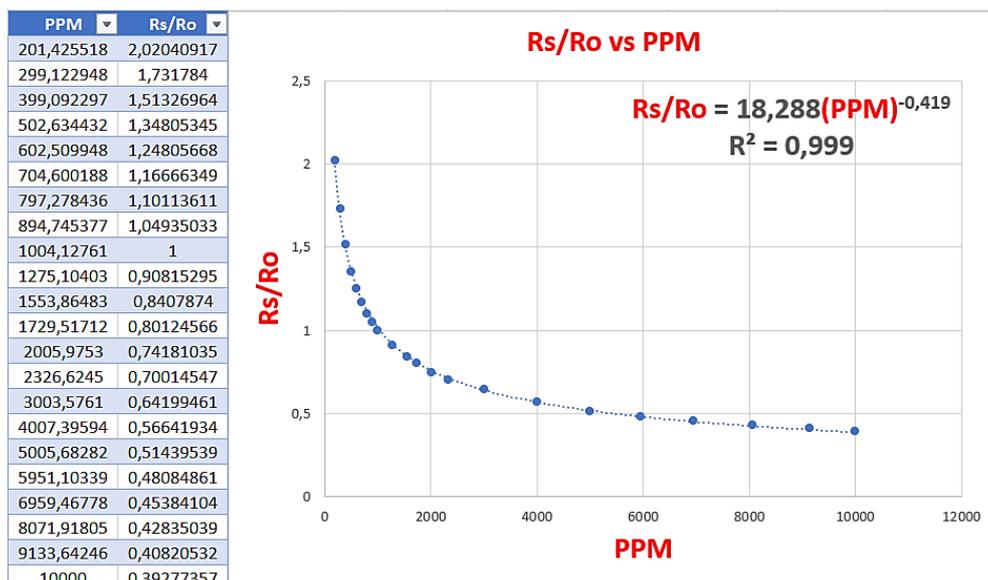
Selección de puntos en la curva de sensibilidad del GLP



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del GLP; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV; seleccionamos la tabla de valores alojada en la hoja de datos y generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción “potencial” y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 39

Ecuación característica y curva de sensibilidad deL GLP en Excel



Nótese que, de la curva característica de sensibilidad del sensor MQ6, ubicada en la figura 04 del anexo A, podemos evidenciar el valor de la relación del sensor (R_s/R_o) en aire.

$$\frac{R_{sMQ6}}{R_{oMQ6}} = 10$$

Además, el valor de resistencia de carga del sensor corresponde a:

$$R_{L_{MQ6}} = 74200.0 \Omega$$

Debemos aplicar la fórmula de divisor de tensión para determinar el valor de R_s

$$R_{sMQ6} = \left(\left(\frac{VCC}{V_{RL_{MQ6}}} \right) - 1 \right) * R_{L_{MQ6}}$$

Aclarar que utilizaremos un script en el cual determinaremos en primera instancia R_{sMQ6} y luego R_{oMQ6} mediante monitor serial en arduino IDE.

Figura 40

Script para determinar R_{oMQ6}

```

Ro.ino
1  #define PIN_MQ6 12
2  #define RL_MQ6 74200.0
3  #define VCC 3.3
4  #define resolucion 4095.0
5  float adc_MQ6 = 0;
6  float VRL_MQ6 = 0;
7  float Rs_MQ6 = 0;
8  float Ro_MQ6 = 0;
9
10 void setup()
11 {
12   Serial.begin(115200);
13   pinMode(PIN_MQ6, INPUT);
14 }
15
16 void loop()
17 {
18   adc_MQ6 = analogRead(PIN_MQ6);
19   VRL_MQ6 = adc_MQ6 * (VCC/resolucion);
20   Rs_MQ6 = ((VCC/VRL_MQ6)-1)*RL_MQ6;
21   Ro_MQ6=Rs_MQ6/10;
22   Serial.println(Ro_MQ6);
23   delay(1000);
24 }

```

Tabla 26

Valores de $R_{O_{M_{Q6}}}$ obtenidos por monitor serial

$R_{O_{M_{Q6}}}$
716030.00
716030.00
716030.00
699205.63
699205.63
716030.00
683145.88
683145.88
683145.88
699205.63
716030.00
716030.00

A continuación, determinamos el valor promedio de $R_{O_{M_{Q6}}}$

$$R_{O_{M_{Q6}}} = 719102.89 \Omega$$

Por otra parte, determinamos la fórmula correspondiente para la concentración de gas en ppm en función de la relación de resistencias del sensor.

En nuestro caso, elegimos los puntos (201.426, 2.020) y (10000, 0.393) de la curva de sensibilidad característica del GLP para determinar la pendiente.

Aplicando la ecuación 2.3 tenemos que:

$$m = [\log(0.393) - \log(2.020)] / [\log(10000) - \log(201.426)]$$

$$m = -0.419425172$$

Para determinar el intercepto, elegimos el punto (1275.104 , 0.908) y lo evaluamos en la ecuación 2.4

$$b = \log(0.908) - (-0.419425172) * \log(1275.104)$$

$$b = 1.260702999$$

Reemplazando el valor de pendiente e intercepto en la ecuación 2.7 tenemos que la expresión para la concentración del gas expresado en ppm será:

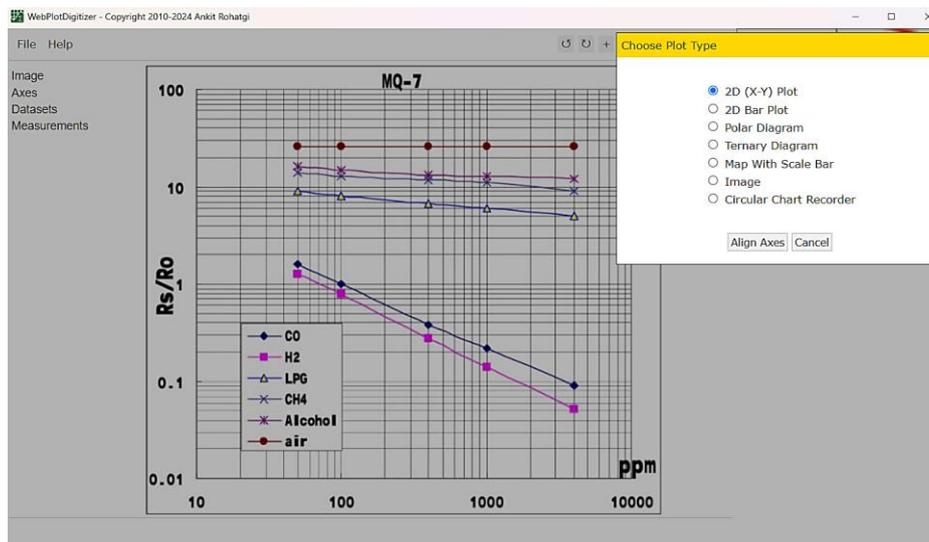
$$ppm_{M_{Q6}} = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio_{M_{Q6}}) - 1.260702999}{-0.419425172}\right)}$$

Acondicionamiento del sensor MQ7 para la detección de Monóxido de Carbono

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor MQ7, ubicada en la figura 05 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 41

Curva característica de sensibilidad del sensor MQ7 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 42

Escala de ejes para la curva de sensibilidad de CO

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

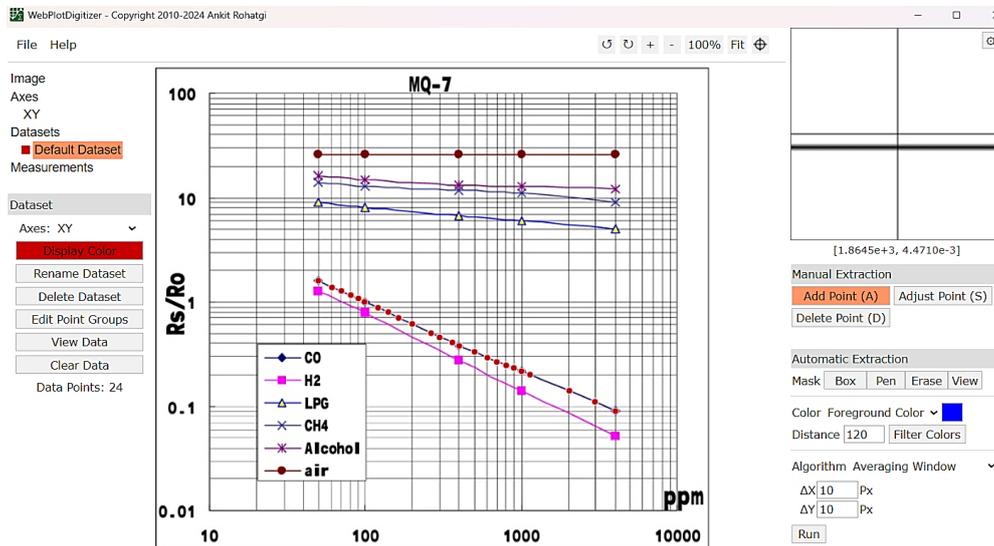
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="10000"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	<input type="text" value="0.01"/>	<input type="text" value="100"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al monóxido de carbono que detectará el sensor MQ7.

Figura 43

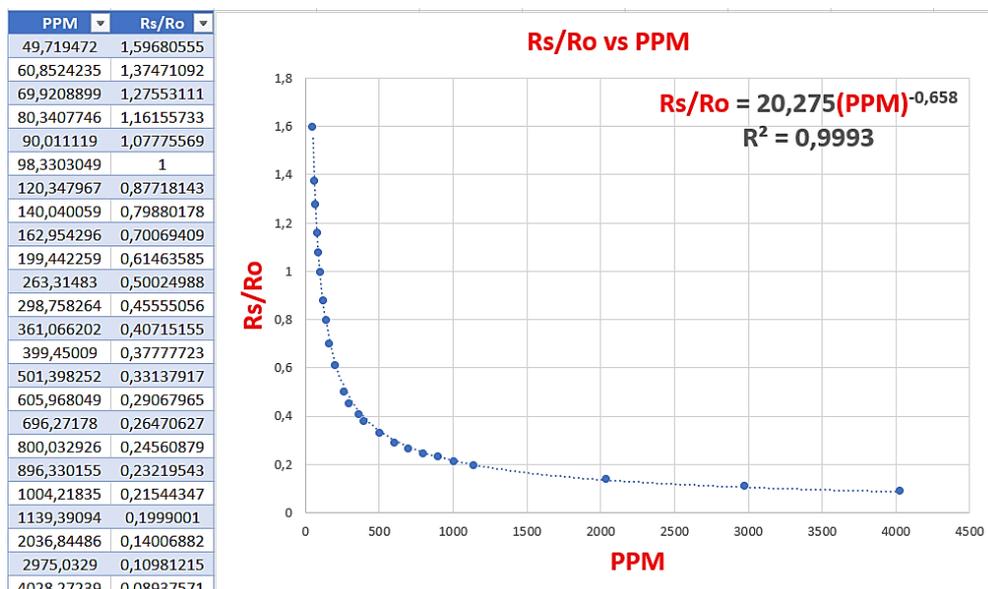
Selección de puntos en la curva de sensibilidad de CO



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del CO; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV; seleccionamos la tabla de valores alojada en la hoja de datos y generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción “potencial” y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 44

Ecuación característica y curva de sensibilidad de CO en Excel



Nótese que, de la curva característica de sensibilidad del sensor MQ7, ubicada en la figura 05 del anexo A, podemos evidenciar el valor de la relación del sensor (R_s/R_o) en aire.

$$\frac{R_{s_{MQ7}}}{R_{o_{MQ7}}} = 25.98$$

Además, el valor de resistencia de carga del sensor corresponde a:

$$R_{L_{MQ7}} = 9830.0 \Omega$$

Debemos aplicar la fórmula de divisor de tensión para determinar el valor de R_s

$$R_{s_{MQ7}} = \left(\left(\frac{VCC}{V_{RL_{MQ7}}} \right) - 1 \right) * R_{L_{MQ7}}$$

Aclarar que utilizaremos un script en el cual determinaremos en primera instancia $R_{s_{MQ7}}$ y luego $R_{o_{MQ7}}$ mediante monitor serial en arduino IDE.

Figura 45

Script para determinar $R_{o_{MQ7}}$

```

Ro.ino
1  #define PIN_MQ7 25
2  #define RL_MQ7 957.0
3  #define VCC 3.3
4  #define resolution 4095.0
5  int adc_MQ7 = 0;
6  float VRL_MQ7 = 0;
7  float Rs_MQ7 = 0;
8  float Ro_MQ7 = 0;
9
10 void setup()
11 {
12   Serial.begin(115200);
13   pinMode(PIN_MQ7, INPUT);
14 }
15
16 void loop()
17 {
18   adc_MQ7 = analogRead(PIN_MQ7);
19   VRL_MQ7 = adc_MQ7 * (VCC/resolution);
20   Rs_MQ7 = ((VCC/VRL_MQ7) - 1) * RL_MQ7;
21   Ro_MQ7 = Rs_MQ7 / 25.98;
22   Serial.println(Ro_MQ7);
23   delay(1000);
24 }

```

Tabla 27

Valores de R_{OMQ7} obtenidos por monitor serial

R_{OMQ7}
1399.77
1399.77
1372.92
1372.92
1372.92
1399.77
1372.92
1399.77
1386.22
1386.22
1372.92
1372.92

A continuación, determinamos el valor promedio de R_{OMQ7}

$$R_{OMQ7} = 1375.92 \Omega$$

Por otra parte, determinamos la fórmula correspondiente para la concentración de gas en ppm en función de la relación de resistencias del sensor.

En nuestro caso, elegimos los puntos (49.719, 1.597) y (4028.272, 0.089) de la curva de sensibilidad característica de CO para determinar la pendiente.

Aplicando la ecuación 2.3 tenemos que:

$$m = [\log(0.089) - \log(1.597)] / [\log(4028.272) - \log(49.719)]$$
$$m = -0.655997886$$

Para determinar el intercepto, elegimos el punto (298.758, 0.456) y lo evaluamos en la ecuación 2.4

$$b = \log(0.456) - (-0.655997886) * \log(298.758)$$
$$b = 1.282341225$$

Reemplazando el valor de pendiente e intercepto en la ecuación 2.7 tenemos que la expresión para la concentración del gas expresado en ppm será:

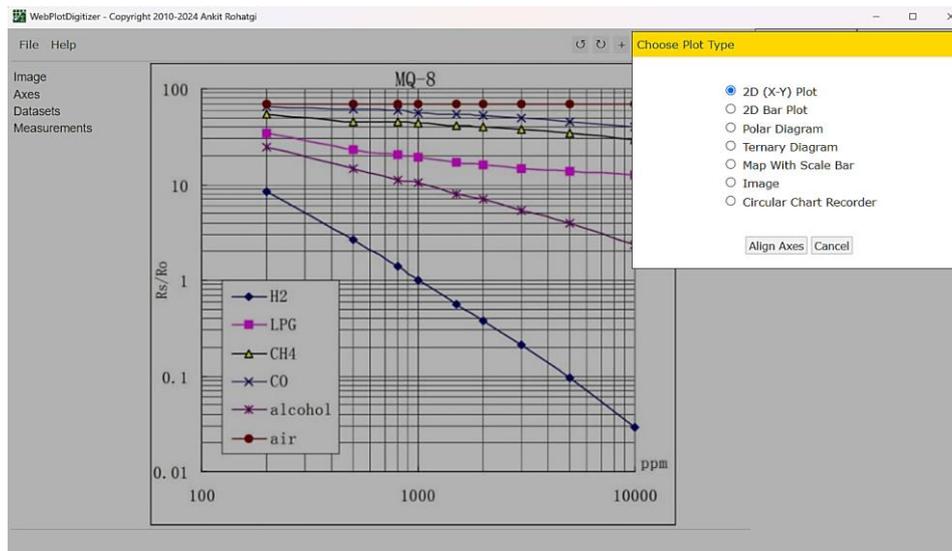
$$ppm_{MQ7} = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio_{MQ7}) - 1.282341225}{-0.655997886}\right)}$$

Acondicionamiento del sensor MQ8 para la detección de Hidrógeno (H)

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor MQ8, ubicada en la figura 06 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 46

Curva característica de sensibilidad del sensor MQ8 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 47

Escala de ejes para la curva de sensibilidad de H

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-axis

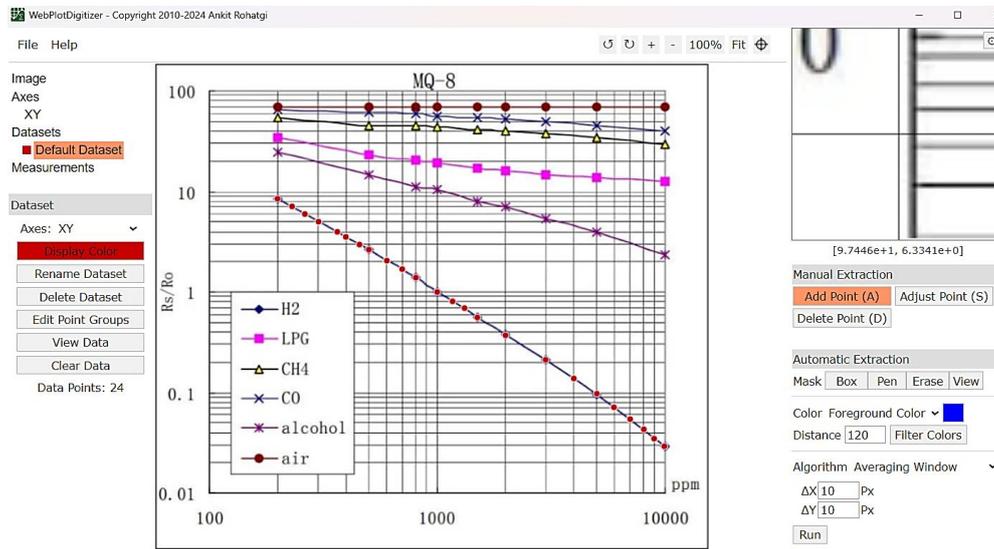
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="10000"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	<input type="text" value="0.01"/>	<input type="text" value="100"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al hidrógeno que detectará el sensor MQ8.

Figura 48

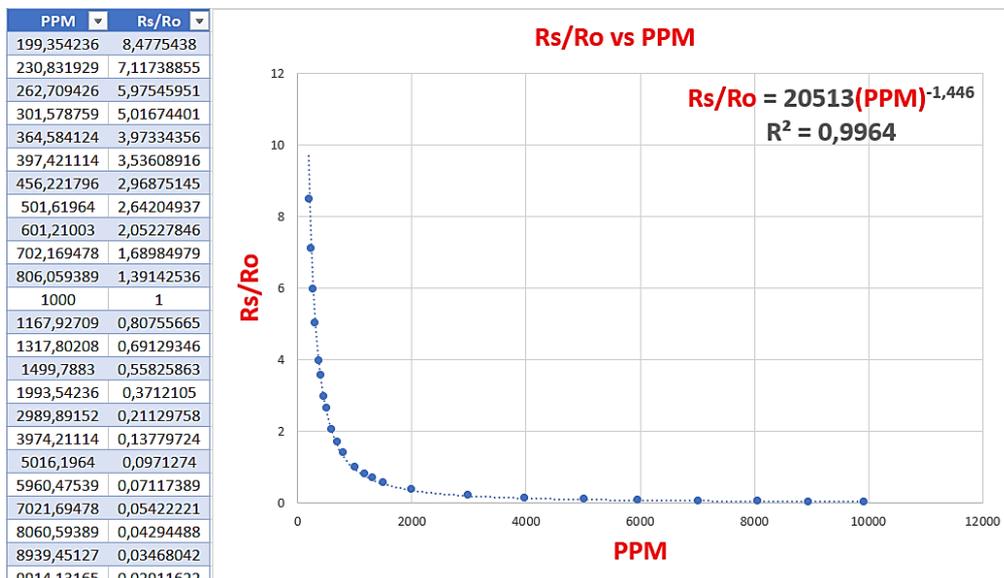
Selección de puntos en la curva de sensibilidad de H



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del H; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV; seleccionamos la tabla de valores alojada en la hoja de datos y generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción “potencial” y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 49

Ecuación característica y curva de sensibilidad de H en Excel



Nótese que, de la curva característica de sensibilidad del sensor MQ8, ubicada en la figura 06 del anexo A, podemos evidenciar el valor de la relación del sensor (R_s/R_o) en aire.

$$\frac{R_{sMQ8}}{R_{oMQ8}} = 70$$

Además, el valor de resistencia de carga del sensor corresponde a:

$$R_{LMQ8} = 14700.0 \Omega$$

Debemos aplicar la fórmula de divisor de tensión para determinar el valor de R_s

$$R_{sMQ8} = \left(\left(\frac{VCC}{V_{RLMQ8}} \right) - 1 \right) * R_{LMQ8}$$

Aclarar que utilizaremos un script en el cual determinaremos en primera instancia R_{sMQ8} y luego R_{oMQ8} mediante monitor serial en arduino IDE.

Figura 50

Script para determinar R_{oMQ8}

```

Ro.ino
1  #define PIN_MQ8 33
2  #define RL_MQ8 14700.0
3  #define VCC 3.3
4  #define resolucion 4095.0
5  float adc_MQ8 = 0;
6  float VRL_MQ8 = 0;
7  float Rs_MQ8 = 0;
8  float Ro_MQ8 = 0;
9
10 void setup()
11 {
12   Serial.begin(115200);
13   pinMode(PIN_MQ8, INPUT);
14 }
15
16 void loop()
17 {
18   adc_MQ8 = analogRead(PIN_MQ8);
19   VRL_MQ8 = adc_MQ8 * (VCC/resolucion);
20   Rs_MQ8 = ((VCC/VRL_MQ8)-1)*RL_MQ8;
21   Ro_MQ8=Rs_MQ8/70;
22   Serial.println(Ro_MQ8);
23   delay(1000);
24 }

```

Tabla 28*Valores de $R_{O_{M_{Q8}}}$ obtenidos por monitor serial*

$R_{O_{M_{Q8}}}$
3314.42
3387.25
3314.42
3314.42
3314.42
3387.25
3379.52
3379.52
3379.52
3379.52
3314.42
3387.25

A continuación, determinamos el valor promedio de $R_{O_{M_{Q8}}}$

$$R_{O_{M_{Q8}}} = 3354.33 \Omega$$

Por otra parte, determinamos la fórmula correspondiente para la concentración de gas en ppm en función de la relación de resistencias del sensor.

En nuestro caso, elegimos los puntos (199.354, 8.478) y (9914.132, 0.029) de la curva de sensibilidad característica del H para determinar la pendiente.

Aplicando la ecuación 2.3 tenemos que:

$$m = [\log(0.029) - \log(8.478)] / [\log(9914.132) - \log(199.354)]$$

$$m = -1.45237099$$

Para determinar el intercepto, elegimos el punto (1000, 1) y lo evaluamos en la ecuación 2.4

$$b = \log(1) - (-1.45237099) * \log(1000)$$

$$b = 4.35711297$$

Reemplazando el valor de pendiente e intercepto en la ecuación 2.7 tenemos que la expresión para la concentración del gas expresado en ppm será:

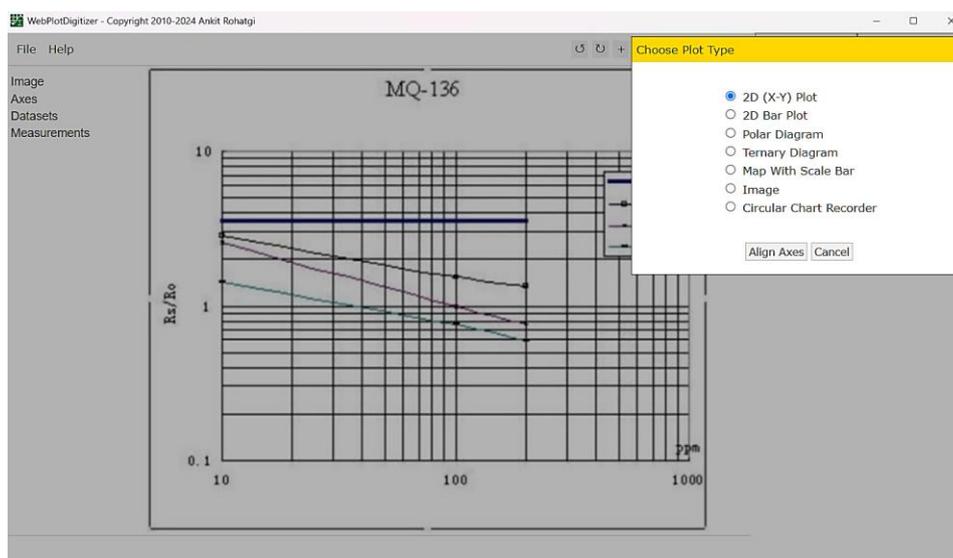
$$ppm_{M_{Q8}} = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio_{M_{Q8}}) - 4.35711297}{-1.45237099}\right)}$$

Acondicionamiento del sensor MQ136 para la detección de Sulfuro de Hidrógeno

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor MQ136, ubicada en la figura 07 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 51

Curva característica de sensibilidad del sensor MQ136 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 52

Escala de ejes para la curva de sensibilidad de H₂S

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

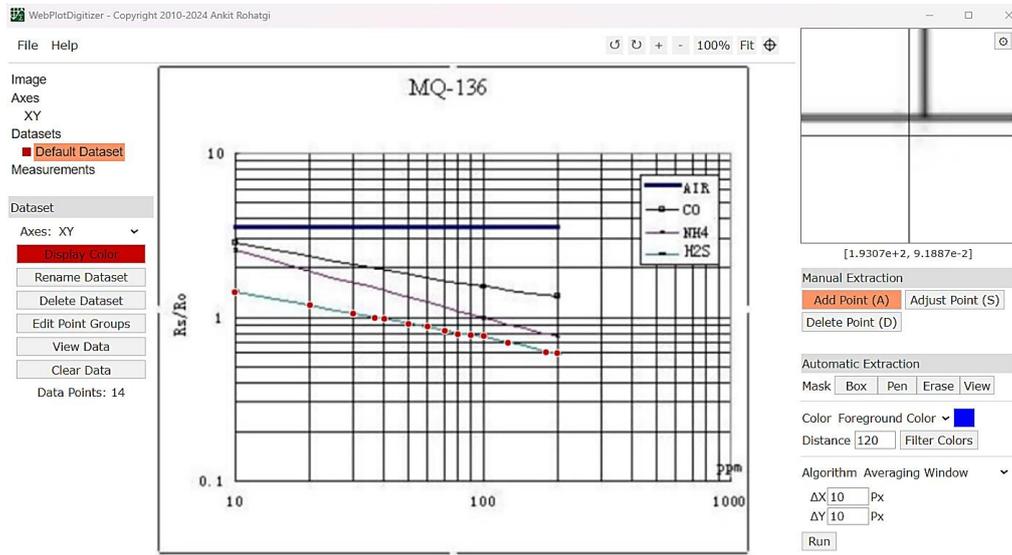
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	10	1000	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	0.1	10	<input checked="" type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al sulfuro de hidrógeno que detectará el sensor MQ136.

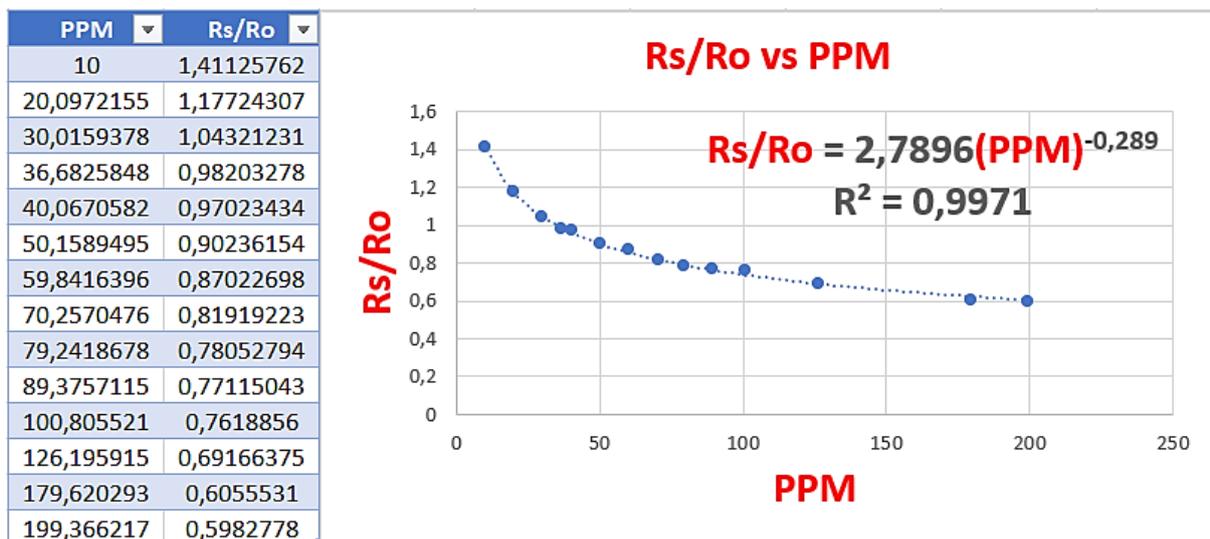
Figura 53

Selección de puntos en la curva de sensibilidad de H₂S



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del H₂S; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV; seleccionamos la tabla de valores alojada en la hoja de datos y generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción “potencial” y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 54



Nótese que, de la curva característica de sensibilidad del sensor MQ136, ubicada en la figura 07 del anexo A, podemos evidenciar el valor de la relación del sensor (R_s/R_o) en aire.

$$\frac{R_{sMQ136}}{R_{oMQ136}} = 3.6$$

Además, el valor de resistencia de carga del sensor corresponde a:

$$R_{L_{MQ136}} = 1860.0 \Omega$$

Debemos aplicar la fórmula de divisor de tensión para determinar el valor de R_s

$$R_{sMQ136} = \left(\left(\frac{VCC}{V_{RL_{MQ136}}} \right) - 1 \right) * R_{L_{MQ136}}$$

Aclarar que utilizaremos un script en el cual determinaremos en primera instancia R_{sMQ136} y luego R_{oMQ136} mediante monitor serial en arduino IDE.

Figura 55

Script para determinar R_{oMQ136}

```

Ro.ino
1  #define PIN_MQ136 32
2  #define RL_MQ136 1860.0
3  #define VCC 3.3
4  #define resolucion 4095.0
5  float adc_MQ136 = 0;
6  float VRL_MQ136 = 0;
7  float Rs_MQ136 = 0;
8  float Ro_MQ136 = 0;
9
10 void setup()
11 {
12   Serial.begin(115200);
13   pinMode(PIN_MQ136, INPUT);
14 }
15
16 void loop()
17 {
18   adc_MQ136 = analogRead(PIN_MQ136);
19   VRL_MQ136 = adc_MQ136 * (VCC/resolucion);
20   Rs_MQ136 = ((VCC/VRL_MQ136)-1)*RL_MQ136;
21   Ro_MQ136=Rs_MQ136/3.6;
22   Serial.println(Ro_MQ136);
23   delay(1000);
24 }

```

Tabla 29

Valores de R_{OMQ136} obtenidos por monitor serial

R_{OMQ136}
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74
3623.74

A continuación, determinamos el valor promedio de R_{OMQ136}

$$R_{OMQ136} = 3623.74 \Omega$$

Por otra parte, determinamos la fórmula correspondiente para la concentración de gas en ppm en función de la relación de resistencias del sensor.

En nuestro caso, elegimos los puntos (10, 1.411) y (199.366, 0.598) de la curva de sensibilidad característica del H_2S para determinar la pendiente.

Aplicando la ecuación 2.3 tenemos que:

$$m = [\log(0.598) - \log(1.411)] / [\log(199.366) - \log(10)]$$

$$m = -0.286771794$$

Para determinar el intercepto, elegimos el punto (70.257, 0.819) y lo evaluamos en la ecuación 2.4

$$b = \log(0.819) - (-0.286771794) * \log(70.257)$$

$$b = 0.442964399$$

Reemplazando el valor de pendiente e intercepto en la ecuación 2.7 tenemos que la expresión para la concentración del gas expresado en ppm será:

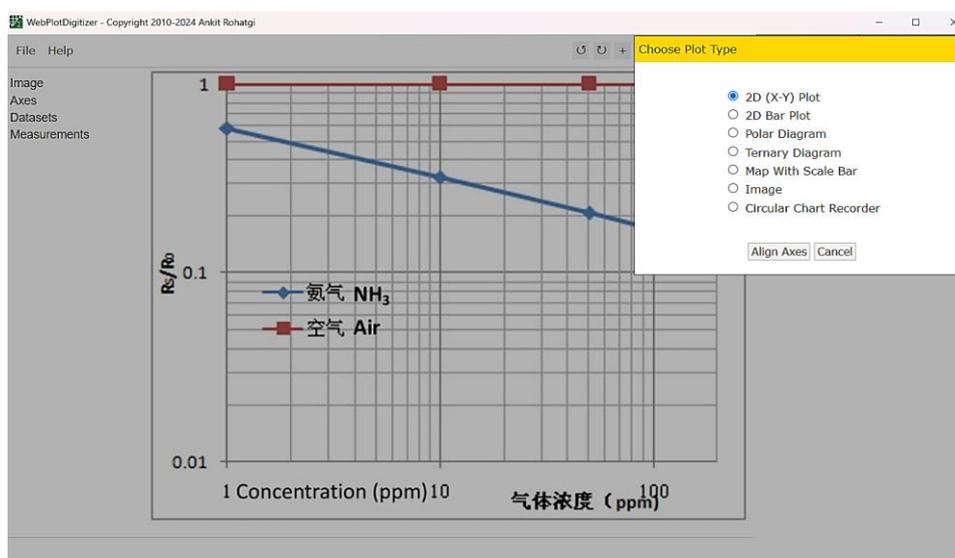
$$ppm_{MQ136} = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio_{MQ136}) - 0.442964399}{-0.286771794}\right)}$$

Acondicionamiento del sensor MQ137 para la detección de Amoniac (NH₃)

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor MQ137, ubicada en la figura 08 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 56

Curva característica de sensibilidad del sensor MQ137 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 57

Escala de ejes para la curva de sensibilidad de NH₃

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

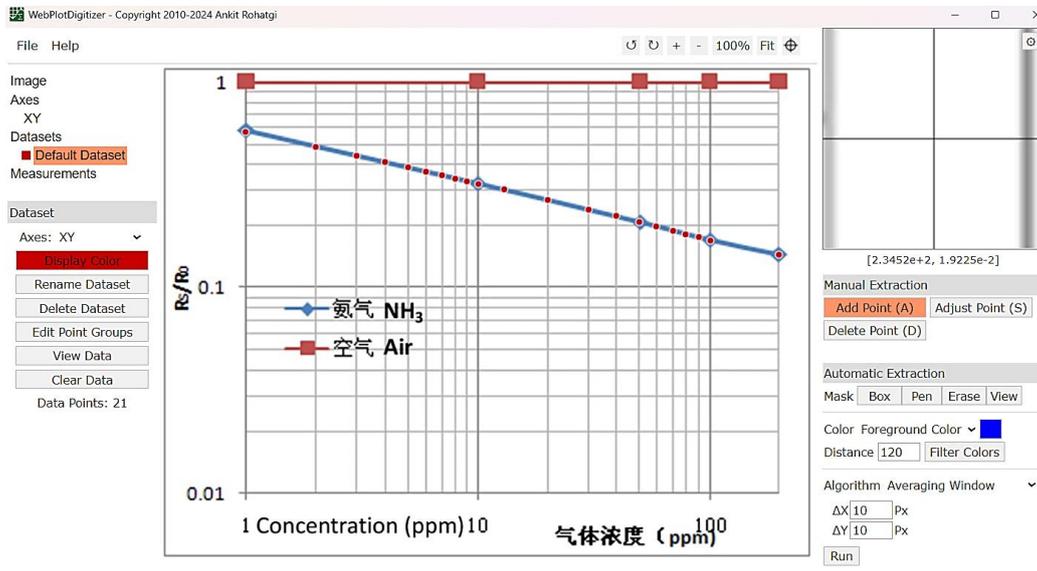
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	1	200	<input checked="" type="checkbox"/>
Y-Axis:	0.01	1	<input checked="" type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al amoníaco que detectará el sensor MQ137.

Figura 58

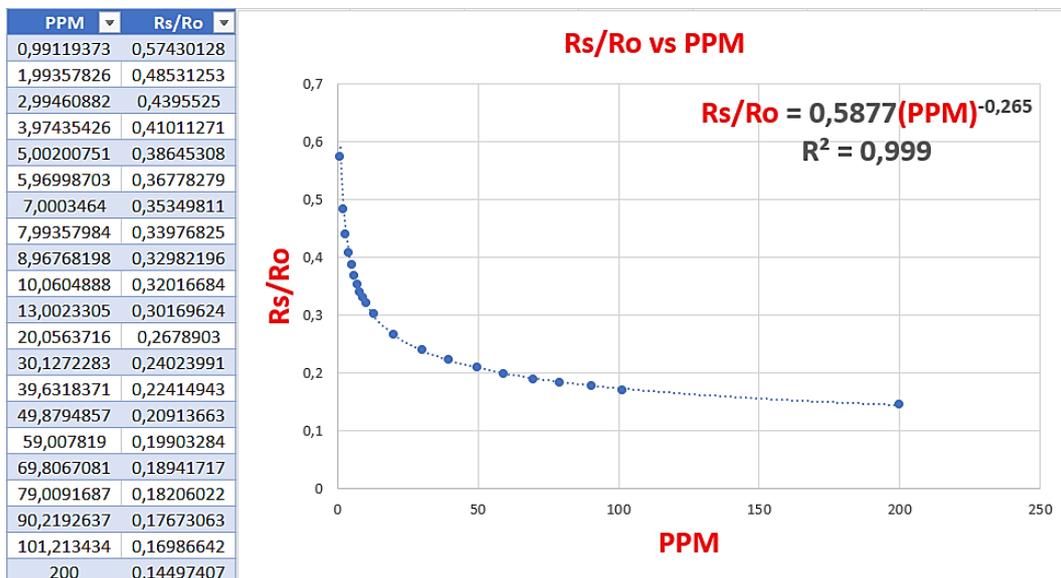
Selección de puntos en la curva de sensibilidad de NH₃



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del NH₃; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV; seleccionamos la tabla de valores alojada en la hoja de datos y generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción “potencial” y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 59

Ecuación característica y curva de sensibilidad de NH₃ en Excel



Nótese que, de la curva característica de sensibilidad del sensor MQ137, ubicada en la figura 08 del anexo A, podemos evidenciar el valor de la relación del sensor (R_s/R_o) en aire.

$$\frac{R_{sMQ137}}{R_{oMQ137}} = 1$$

Además, el valor de resistencia de carga del sensor corresponde a:

$$R_{L_{MQ137}} = 991.0 \Omega$$

Debemos aplicar la fórmula de divisor de tensión para determinar el valor de R_s

$$R_{sMQ137} = \left(\left(\frac{VCC}{V_{RL_{MQ137}}} \right) - 1 \right) * R_{L_{MQ137}}$$

Aclarar que utilizaremos un script en el cual determinaremos en primera instancia R_{sMQ137} y luego R_{oMQ137} mediante monitor serial en arduino IDE.

Figura 60

Script para determinar R_{oMQ137}

```

Ro.ino
1  #define PIN_MQ137 35
2  #define RL_MQ137 991.0
3  #define VCC 3.3
4  #define resolucion 4095.0
5  float adc_MQ137 = 0;
6  float VRL_MQ137 = 0;
7  float Rs_MQ137 = 0;
8  float Ro_MQ137 = 0;
9
10 void setup()
11 {
12   Serial.begin(115200);
13   pinMode(PIN_MQ137, INPUT);
14 }
15
16 void loop()
17 {
18   adc_MQ137 = analogRead(PIN_MQ137);
19   VRL_MQ137 = adc_MQ137 * (VCC/resolucion);
20   Rs_MQ137 = ((VCC/VRL_MQ137)-1)*RL_MQ137;
21   Ro_MQ137=Rs_MQ137/1;
22   Serial.println(Ro_MQ137);
23   delay(1000);
24 }

```

Tabla 30

Valores de R_{OMQ137} obtenidos por monitor serial

R_{OMQ137}
2219.56
2219.56
2219.56
2224.65
2219.56
2227.20
2219.56
2219.56
2222.10
2224.65
2224.65
2219.56

A continuación, determinamos el valor promedio de R_{OMQ137}

$$R_{OMQ137} = 2221.68 \Omega$$

Por otra parte, determinamos la fórmula correspondiente para la concentración de gas en ppm en función de la relación de resistencias del sensor.

En nuestro caso, elegimos los puntos (0.991, 0.574) y (200, 0.145) de la curva de sensibilidad característica del NH_3 para determinar la pendiente.

Aplicando la ecuación 2.3 tenemos que:

$$m = [\log(0.145) - \log(0.574)] / [\log(200) - \log(0.991)]$$

$$m = -0.259385161$$

Para determinar el intercepto, elegimos el punto (10.060, 0.320) y lo evaluamos en la ecuación 2.4

$$b = \log(0.320) - (-0.259385161) * \log(10.060)$$

$$b = -0.234559138$$

Reemplazando el valor de pendiente e intercepto en la ecuación 2.7 tenemos que la expresión para la concentración del gas expresado en ppm será:

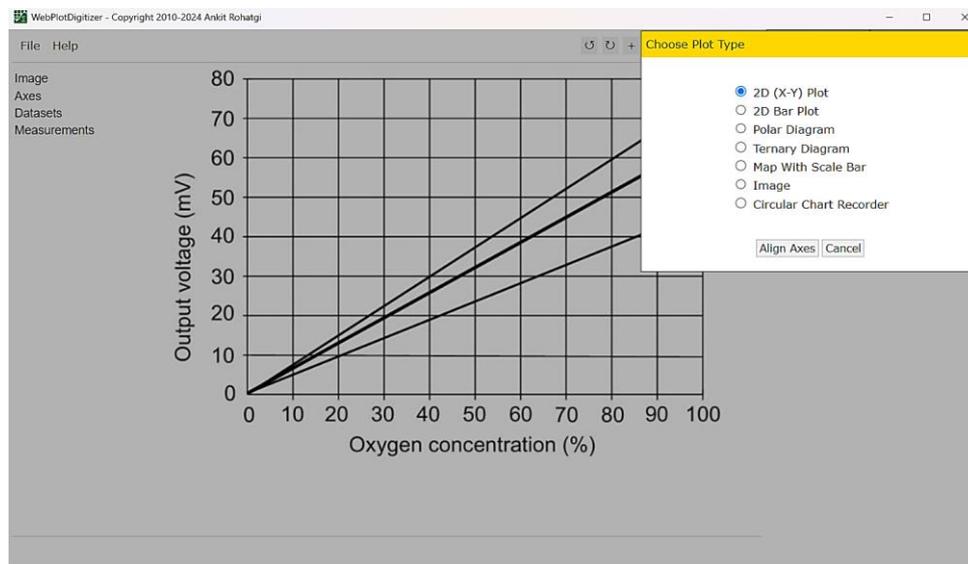
$$ppm_{MQ137} = 10^{\left(\frac{\log_{10}(Ratio_{MQ136}) + 0.234559138}{-0.259385161}\right)}$$

2.7.2 Acondicionamiento del sensor Figaro KE25

La imagen correspondiente a la curva característica de sensibilidad del sensor KE25, ubicada en la figura 09 del anexo A, se carga en el software WebPlotDigitizer y se selecciona en modo 2D (X-Y) Plot, con la finalidad de digitalizar la gráfica correspondiente.

Figura 61

Curva característica de sensibilidad del sensor KE25 en el software WPD



Se configuran las escalas de los ejes X y Y respectivamente. Además, se establece la escala logarítmica y se considera que los ejes están alineados con las coordenadas de la imagen.

Figura 62

Escala de ejes para la curva de sensibilidad de Oxígeno

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

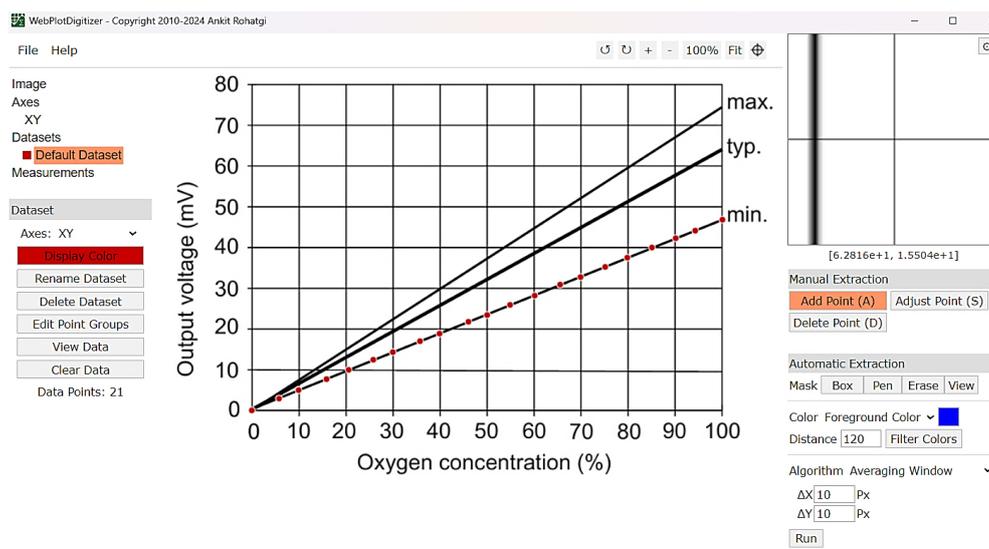
	Point 1	Point 2	Log Scale
X-Axis:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="checkbox"/>
Y-Axis:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="80"/>	<input type="checkbox"/>

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

Procedemos a seleccionar los puntos sobre la curva característica correspondiente al oxígeno que detectará el sensor KE25.

Figura 63

Selección de puntos en la curva de sensibilidad de KE25



Se procede a utilizar la función View Data para extraer en un registro los puntos colocados sobre la línea de tendencia del KE25; además, se procede a descargar los pares ordenados como archivo .CSV

A continuación, se realiza un escalamiento a unidades de voltaje de los valores correspondientes del eje Y expresados en milivoltios.

Los pines analógicos ADC de la ESP32 Wrover Dev están diseñados para manejar un rango de voltaje de entrada comprendido entre 0 V y 3.3 V, que corresponde al valor máximo permitido por la especificación del hardware, por tal motivo se diseñará un circuito basado en un amplificador operacional con el objetivo de amplificar señales analógicas con amplitudes en el rango de milivoltios (mV) a valores en el rango de voltios (V). Para este propósito, se seleccionará una configuración de amplificador no inversor.

En este caso, la ganancia se determina mediante la ecuación:

$$A_{oxígeno} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

Donde R_f es la resistencia de retroalimentación y R_i es la resistencia de entrada.

La relación entre estas variables se detalla en la Figura 64, tomando en consideración que el voltaje máximo de salida del sensor será aproximadamente 0.050 voltios, se seleccionará una resistencia de entrada de $1K\Omega$ y una resistencia de retroalimentación de $33K\Omega$, de manera que:

$$A_{oxígeno} = 1 + \frac{33K}{1K}$$

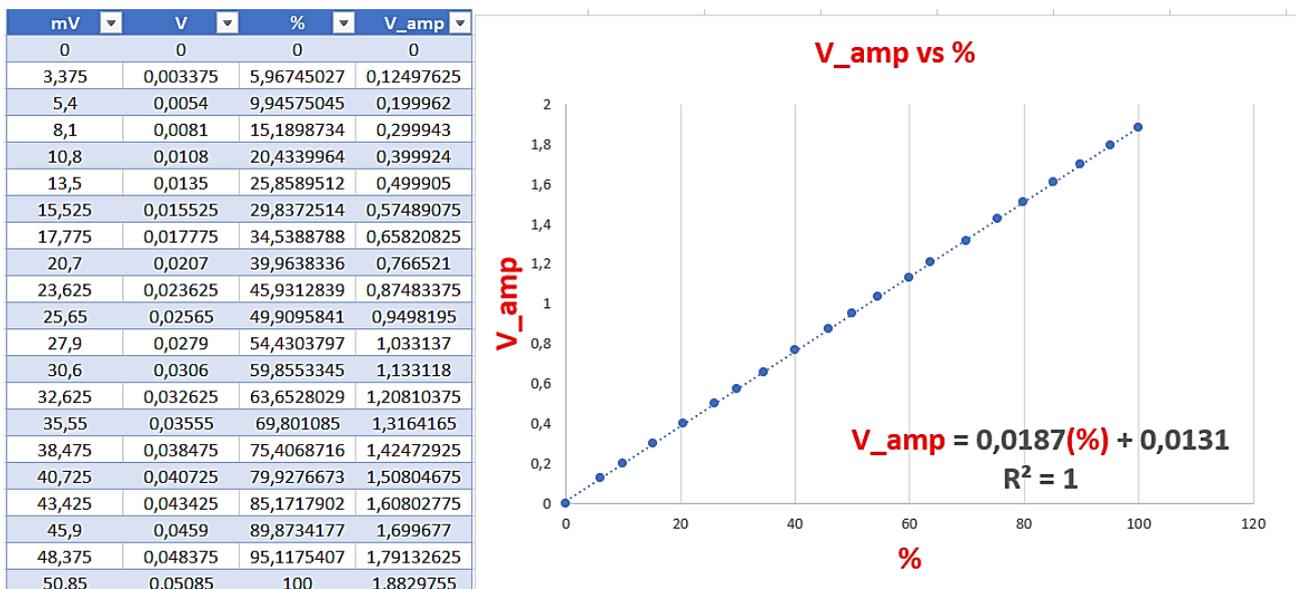
$$A_{oxígeno} = 34$$

Por tanto, procedemos a ajustar los valores del eje Y por un factor de 34 y construimos una columna adicional en la hoja excel con el encabezado V_amp, donde podemos verificar que el máximo voltaje ajustado del sensor corresponderá a un valor de 1.88 voltios.

Generamos un gráfico de dispersión. Adicionalmente, procedemos a agregar una línea de tendencia ajustando el modelo matemático con la opción "lineal" y presentamos la ecuación en el gráfico.

Figura 64

Ecuación característica y curva de sensibilidad de oxígeno en Excel



2.7.3 Acondicionamiento de nivel de señal sensores MQ

Es fundamental acondicionar el nivel de señal analógica de 5 voltios a 3.3 voltios antes de ingresarla al pin analógico (ADC) del ESP32 debido a las características de voltaje de este microcontrolador.

El ESP32 tiene un rango de operación para su ADC que varía típicamente de 0 a 3.3V, lo que significa que cualquier señal superior a 3.3V podría dañar permanentemente los componentes internos del microcontrolador. Si se suministra una señal de 5V directamente a un pin ADC del ESP32, existe el riesgo de sobrecargar el pin y afectar su rendimiento o incluso destruir el chip. Por lo tanto, es necesario realizar una conversión de nivel de voltaje para garantizar que la señal de entrada esté dentro de los parámetros seguros para el dispositivo, de manera que, se utilizará un divisor de voltaje compuesto por dos resistencias, una de 10kΩ y otra de 20kΩ.

Empleando la fórmula correspondiente tenemos que:

$$V_{salida} = V_{entrada} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

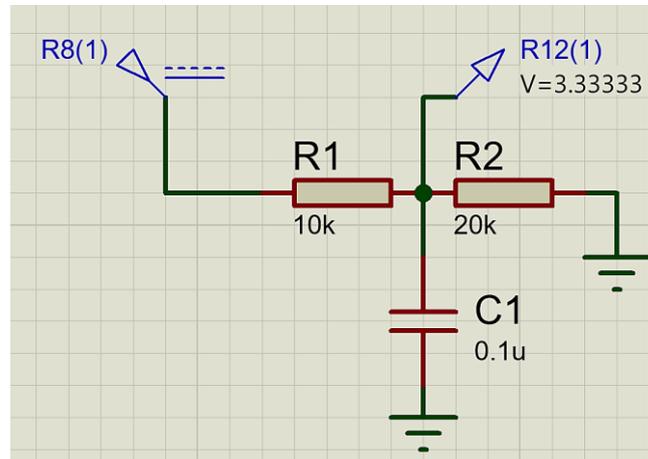
$$V_{salida} = 5 * \frac{20}{30}$$

$$V_{salida} = 3.3 V$$

Se agregó un capacitor de 0.1 μF a la entrada del pin ADC del ESP32 para filtrar el ruido y las interferencias que puedan afectar la precisión de la medición. Este capacitor actúa como un filtro de paso bajo, suavizando las fluctuaciones de la señal y proporcionando una lectura más estable y precisa. Además, ayuda a reducción de picos de voltaje transitorios, asegurando una señal limpia al ADC.

Figura 65

Acondicionamiento de nivel de señal sensores MQ



2.7.4 Acondicionamiento de nivel de señal de sensor Figaro KE25

En la sección de acondicionamiento del sensor Figaro KE25 se pudo concluir la utilización de un amplificador operacional en configuración no inversora con el objetivo de amplificar el rango de salida del sensor de unidades de milivoltios (mV) a voltios (V).

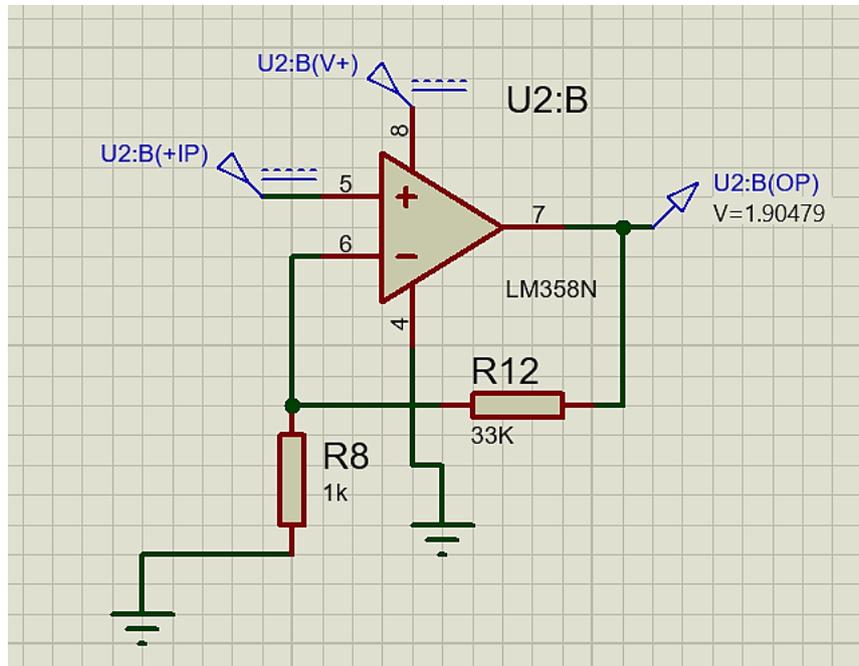
Se seleccionó previamente una resistencia de entrada de $1K\Omega$ y una resistencia de retroalimentación de $33K\Omega$, de manera que la ganancia de amplificación será:

$$A_{oxígeno} = 1 + \frac{33K}{1K}$$

$$A_{oxígeno} = 34$$

Figura 66

Acondicionamiento de nivel de señal sensor KE25



2.8 Diseño de PCB

Para efectos del diseño de la placa PCB se utilizó el software Proteus; de modo que, se creó el esquema electrónico detallado en la figura 67, utilizando un amplio catálogo de componentes. Luego, se realizó el enrutamiento de las pistas en el diseño de la PCB, asegurándose que los componentes estén correctamente ubicados y las conexiones sean precisas. Durante este proceso, fue importante seguir reglas de diseño, como mantener un espaciado adecuado entre las pistas, utilizar un ancho de pista apropiado para soportar la corriente, y garantizar un buen manejo de la señal y el aterrizaje.

Figura 67

Diseño PCB en vista de sombreado

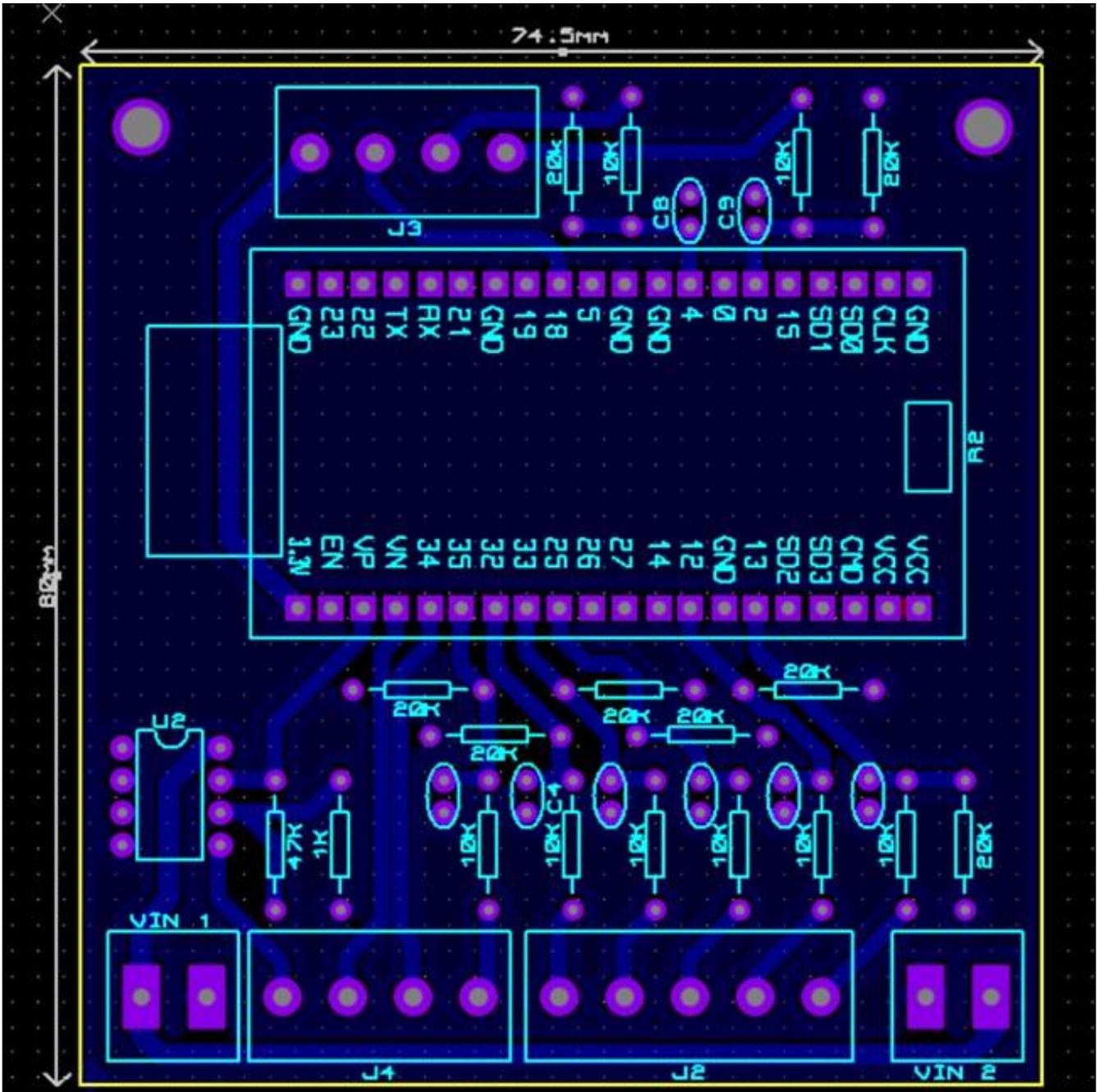
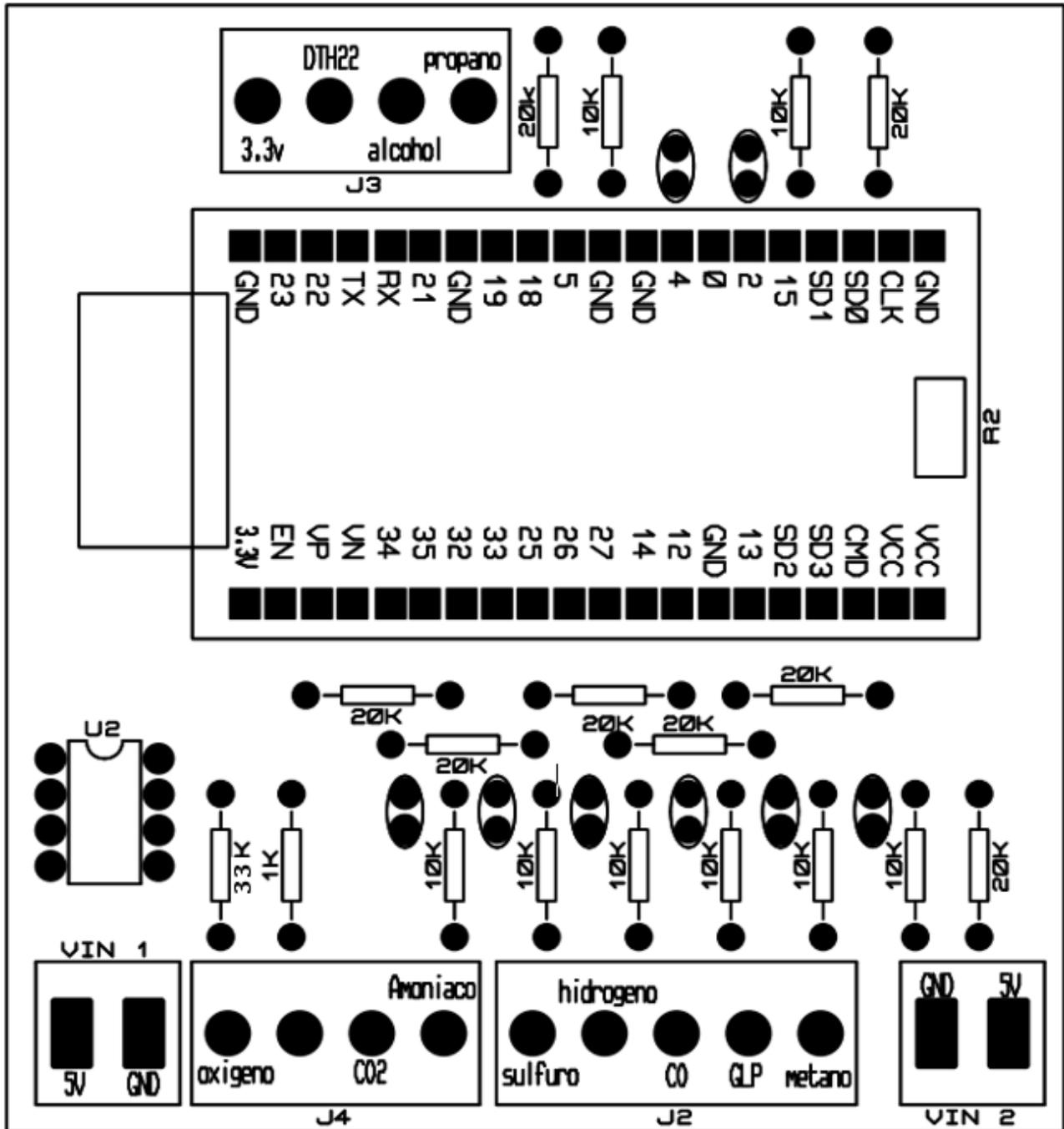


Figura 68

Generación de archivo PDF del diseño de PCB



2.9 Alimentación

La fuente de alimentación proporciona la energía eléctrica requerida para la operación de la matriz de sensores. La fuente de alimentación debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- Su salida de tensión debe ser de $5 V_{cc}$
- La tensión debe ser estable para conseguir una lectura de concentración precisa.
- Su costo debe ser bajo.
- Su tamaño debe ser el idóneo para ubicarla en la parte interna del prototipo.

La fuente de alimentación que se escogió para este proyecto es la TPS-0505 de la marca EVL, que comparte las siguientes características:

- Entrada: 120-240Vac (Selector manual)
- Salida: 5Vdc 5A
- Potencia: 25W máximo
- Potenciómetro de ajuste de voltaje para calibración
- Borneras de conexión para múltiples tomas
- Carcasa metálica aislada
- Salida de voltaje regulado

Figura 69

Fuente de alimentación EVL TPS-0505



2.10 Programación de la Interfaz y Microcontrolador

Para la interfaz gráfica se ha empleado el programa QT Creator, en donde se especializa por ser un entorno abierto desarrollado integrado multiplataforma donde se lo puede utilizar para diversas actividades como la creación o modificación de aplicaciones. Dentro de las características más importantes se encuentra su compatibilidad con diferentes sistemas operativos como Linux, Mac – IOS y Windows, esto permite un mayor alcance a los usuarios para permitirles el uso de la plataforma debido a que su desarrollo puede realizarse en dispositivos móviles y de escritorio.

Para el trabajo se emplearán dos componentes del software, el primero se enfocará en el desarrollo y el diseño de la aplicación HMI mientras que el segundo se encargará del envío y recepción de los datos ingresados y mostrados a usuario a través de dicha interfaz. Este algoritmo permitirá al usuario enviar distintos parámetros como la activación y desactivación de los sensores a utilizar y a su vez se encargará de modificar los tiempos de muestreo en el proyecto.

Programación de la Interfaz

El programa se encuentra dividido en 4 archivos de código en donde se detalla cada una de las partes que se emplean en el proyecto.

Mainwindow.h: En este archivo se encuentran las diferentes declaraciones de las clases (públicas y privadas), funciones y variables necesarias para el funcionamiento de la pantalla principal y a su vez para el funcionamiento de la pantalla referente a la base de datos.

Main.cpp: Este archivo es esencial en la elaboración de un programa en C++, contiene el punto de entrada del programa a través de la función main().

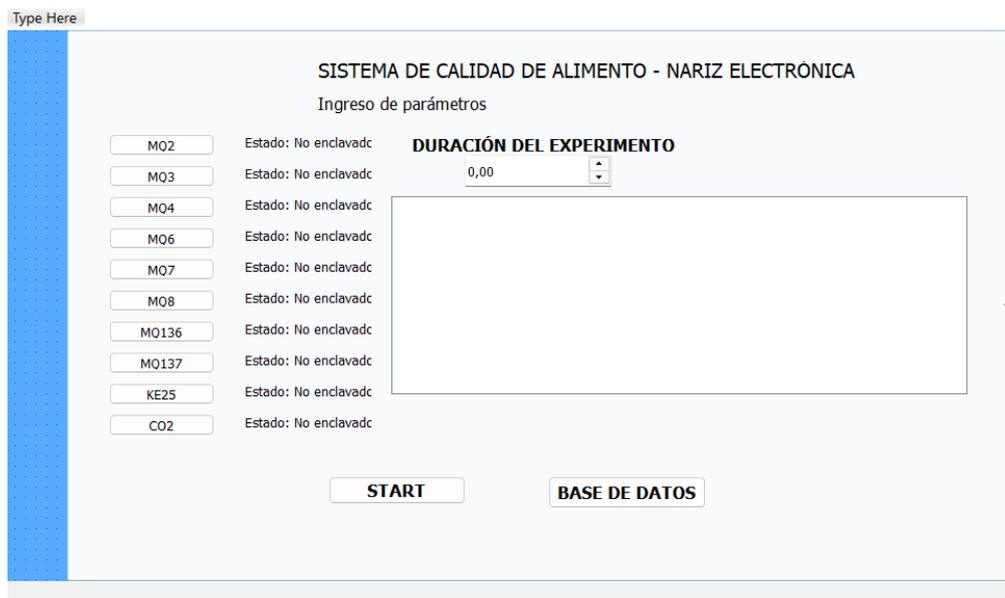
Mainwindow.cpp: Es el archivo en donde se configura los diferentes parámetros que tomarán a través de la comunicación entre el programa y el microcontrolador ESP32, se ha

seleccionado la comunicación vía USB por la alta demanda de tiempo que exigen las pruebas sobre los alimentos. A través del intercambio de información entre el programa y el microcontrolador se podrá iniciar y detener la toma de datos en general, analizar el valor de horas que debe funcionar el programa y el intervalo de tiempo que se realizará la toma de datos.

Mainwindow.ui: Es la interfaz gráfica que permite la navegación entre las diversas pantallas y permite el ingreso de horas en pantalla en la cual deberá funcionar el programa y de igual manera se permite el ingreso del intervalo de tiempo de la toma de datos, además se permitirá la visualización de la tabla de datos del experimento.

Figura 70

Desarrollo de la aplicación QT Creador



Al momento de ejecutar la aplicación se puede observar que se abre la aplicación principal del programa, esto permite la visualización de los diferentes sensores utilizados en el mismo, del lado izquierdo de la pantalla se aprecian las botoneras correspondientes a la activación y desactivación de los sensores, esto permite el uso de sensores que se emplearán en la aplicación de ciertos alimentos.

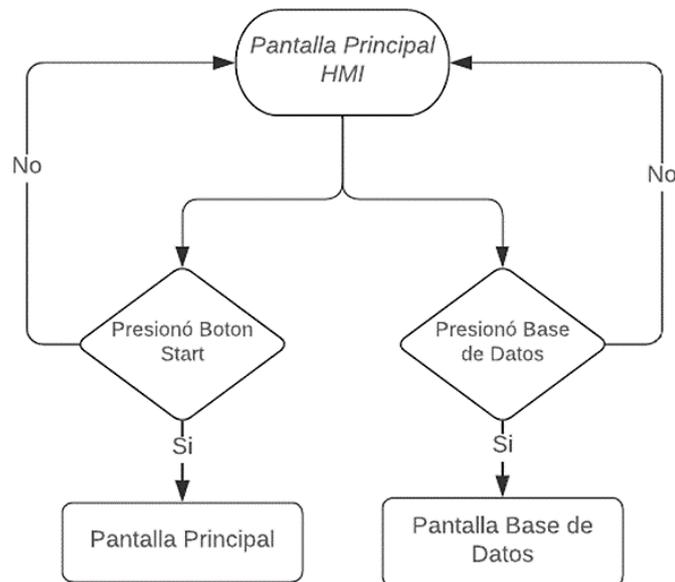
En el recuadro que se encuentra abajo del texto “Duración del experimento” se podrá ingresar el tiempo de duración que se desea que el programa se encuentre en funcionamiento, inicialmente cuenta con un valor por defecto de 0,00 en donde hace referencia a 0 horas con 00 minutos, este valor deberá ser modificado para que al momento de iniciar el programa no se cierre de manera automática.

Si se presiona el botón “START”, se inicia el programa y los datos obtenidos se reflejan en la tabla ubicada a lado de los sensores.

Si se presiona el botón “BASE DE DATOS” el programa enviará al usuario a una pestaña emergente que permitirá guardar la información exportándola desde un archivo .csv a un archivo Excel.

Figura 71

Diagrama de flujo Pantalla Principal



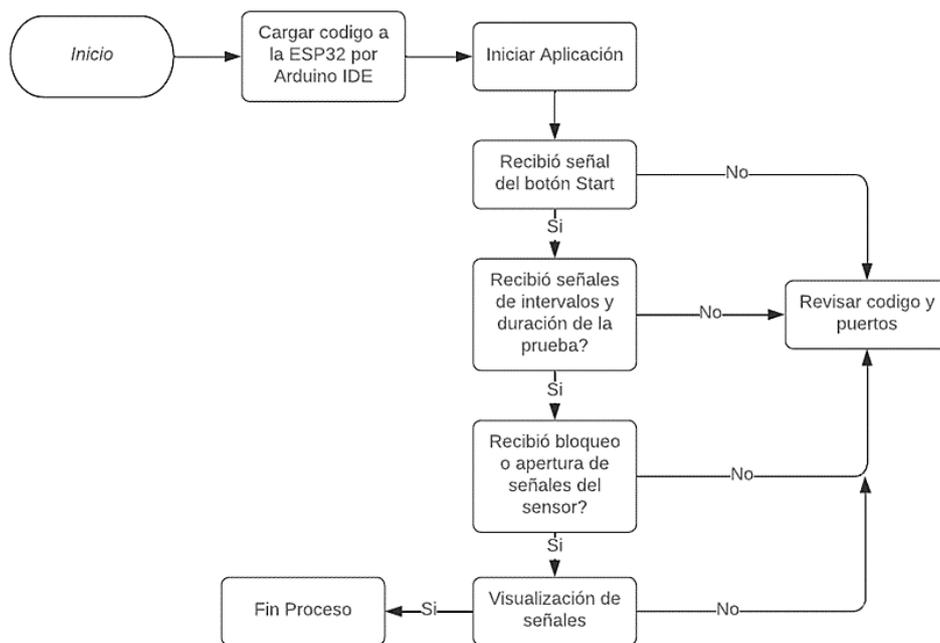
En la pantalla principal se tiene un proceso que se deberá llevar a cabo por parte del usuario para el correcto funcionamiento del proceso de recolección de información referente a los gases emitidos por los alimentos.

En primer lugar, el usuario deberá presionar el botón Start, este botón permitirá que la pantalla principal comience a mostrar los datos obtenidos de los sensores activos durante el tiempo previamente establecido.

Mientras que, si se presiona el botón Base de Datos, esto permitirá que el programa muestre una pestaña emergente para la exportación de los datos obtenidos. Cabe mencionar que la exportación se puede realizar mientras el programa se encuentre en funcionamiento o cuando se termine el tiempo de muestreo.

Figura 72

Diagrama de flujo del microcontrolador



En la programación del microcontrolador se ha cargado un código con las diferentes fórmulas obtenidas a través de las curvas características de los sensores con respecto al gas que presentan mayor sensibilidad.

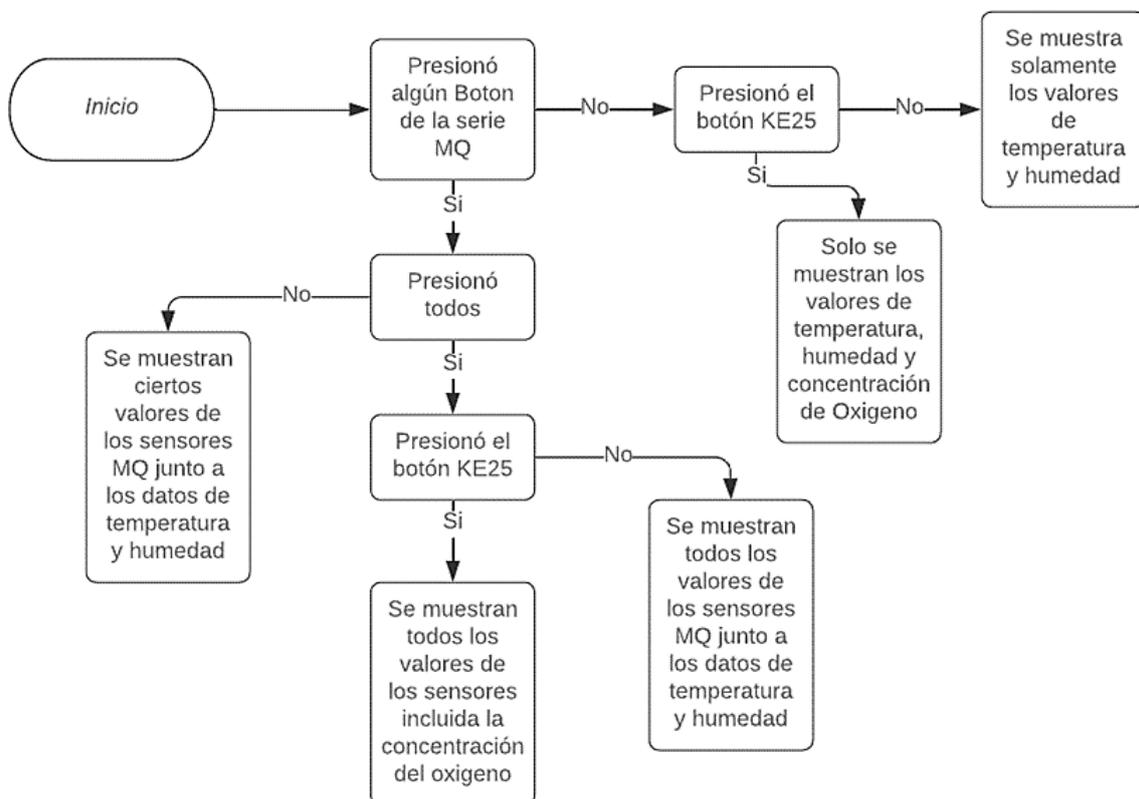
Este diagrama de flujo representa las diferentes condiciones que deberán recibir para un correcto funcionamiento, como primer punto se debe tener en cuenta que el tiempo de prueba no deberá ser 0,00 cuando se inicie el funcionamiento del programa, pues no tomará datos de los sensores. Se deberá ingresar un valor superior a las 0 horas.

Luego de ello, se deberán presionar los botones correspondientes a los sensores que se emplearán en la aplicación. Una vez obtenidos estos valores, se presionará el botón Start para de esta forma poder visualizar las señales obtenidas a partir de los sensores.

En caso de que no se activen o desactiven las señales de los sensores o no se logren visualizar los datos en la tabla, se recomienda revisar el código cargado a la ESP32 y verificar su salida por el puerto serial correspondiente a la aplicación QT-Creator.

Figura 73

Diagrama de flujo de botones de sensores



En caso de que no se presione ningún sensor, el sistema tomará como inactivos todos los sensores y simplemente en la tabla se presentarán los valores correspondientes a la temperatura y humedad. Cabe mencionar que estos dos parámetros siempre se mostrarán en la tabla para poder observar las condiciones en las que se encuentran el producto de estudio.

En caso de que se presione algún sensor de la serie MQ, se mostrará en la tabla los valores obtenidos de dicho sensor, los sensores que no se encuentren activados enviarán un valor de 0 por defecto. Si se llega a presionar el sensor KE-25, se tomará simplemente la concentración de oxígeno presente en el sistema.

Si se presiona todos los sensores mostrados en pantalla, la tabla mostrará todos los valores de los sensores, es decir, estarían trabajando los sensores de humedad, temperatura, los de la serie MQ y el sensor KE-25.

2.11 Diseño mecánico

Se realizó el diseño de una estructura tipo cámara invertida expuesta para el prototipo, el cual estará compuesto de 4 secciones: base de prototipo, cámara hermética para gases, soporte para sensores de gas y carcasa de circuitos. Este seccionamiento asegura el diseño de un equipo funcional y seguro.

SolidWorks es un software de diseño asistido por computadora que utilizamos para crear un prototipo y modelo 3D de alta precisión. Su interfaz intuitiva nos permitió diseñar, analizar piezas y ensamblajes en un entorno virtual antes de la fabricación física del equipo

2.11.1 Medidas

Según las especificaciones proporcionadas por el cliente y las dimensiones de los componentes, se ha decidido utilizar las siguientes medidas:

Cámara:

- **Ancho:** 32 cm
- **Alto:** 22 cm
- **Largo:** 22 cm
- **Espesor del material:** 10 mm

Base de prototipo:

- **Ancho:** 40 cm
- **Alto:** 3 cm
- **Largo:** 30 cm
- **Espesor del material:** 10 mm

Con estas dimensiones generales se procedió a desarrollar un boceto del modelo del prototipo, obteniendo el siguiente modelo:

Figura 74

Base de prototipo

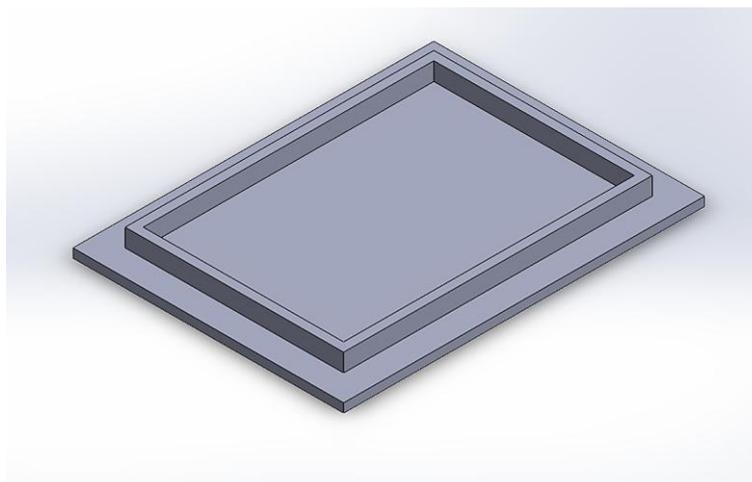


Figura 75

Base de sensores

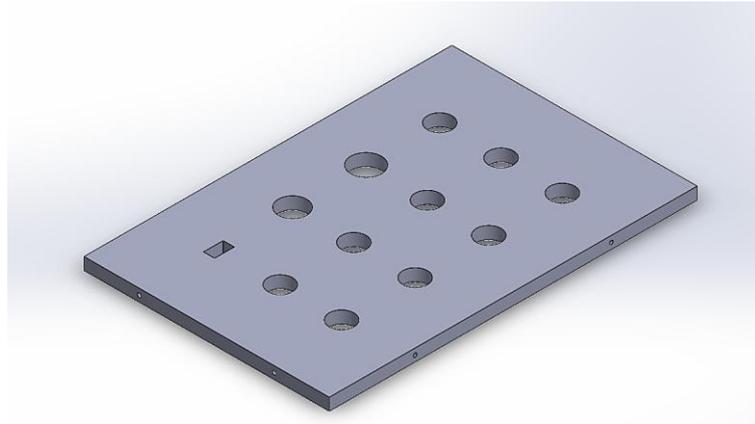


Figura 76

Cámara de gases

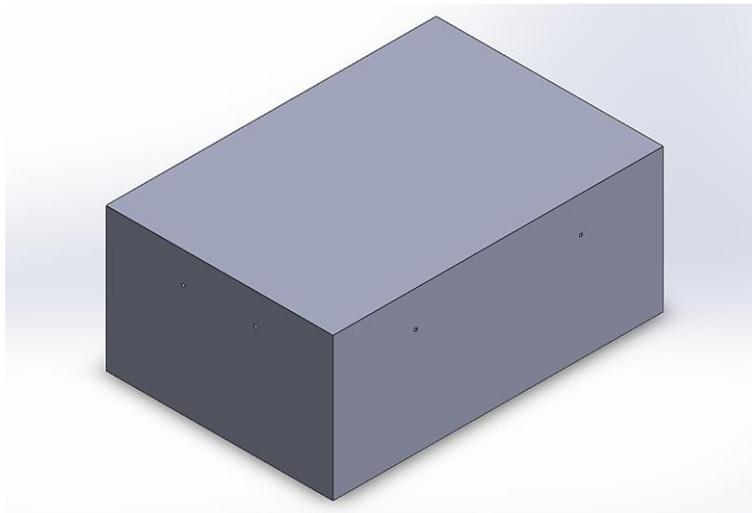


Figura 77

Carcasa de circuitos

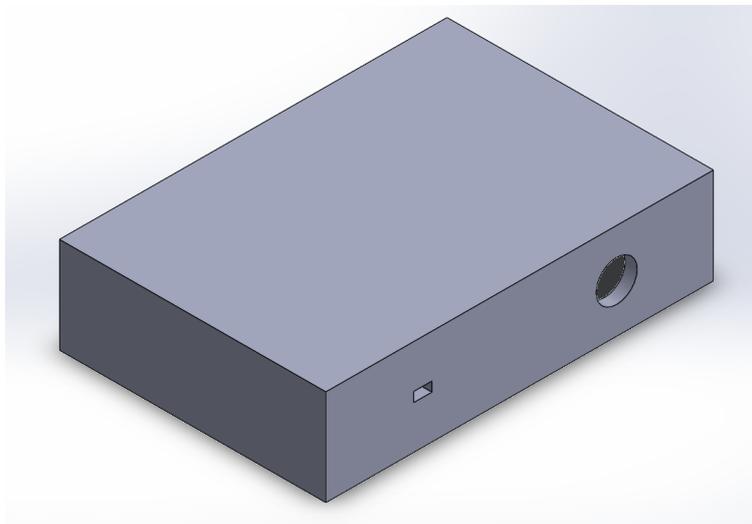


Figura 78

Mango lateral

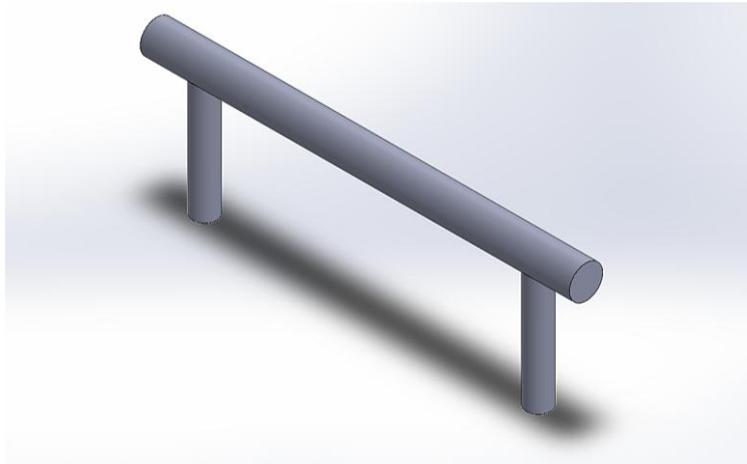


Figura 79

Agarradera superior

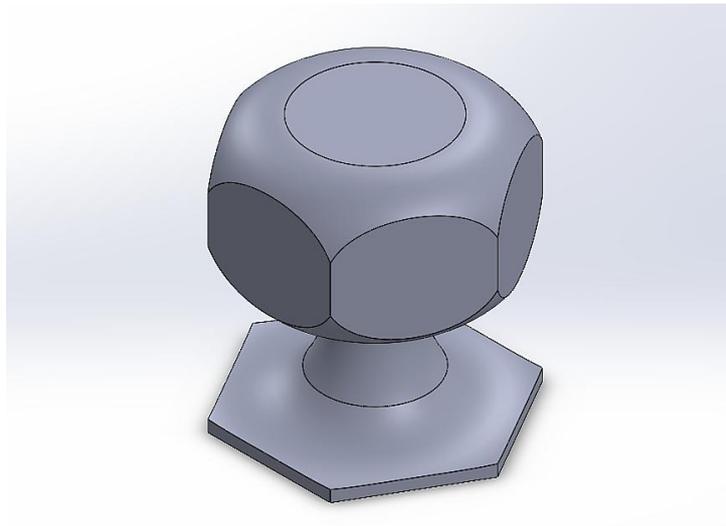


Figura 80

Boceto prototipo vista isométrica

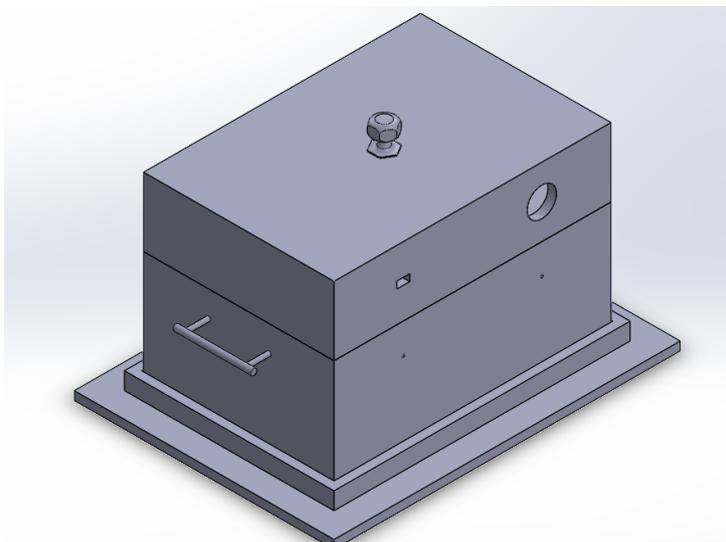


Figura 81

Renderizado de prototipo

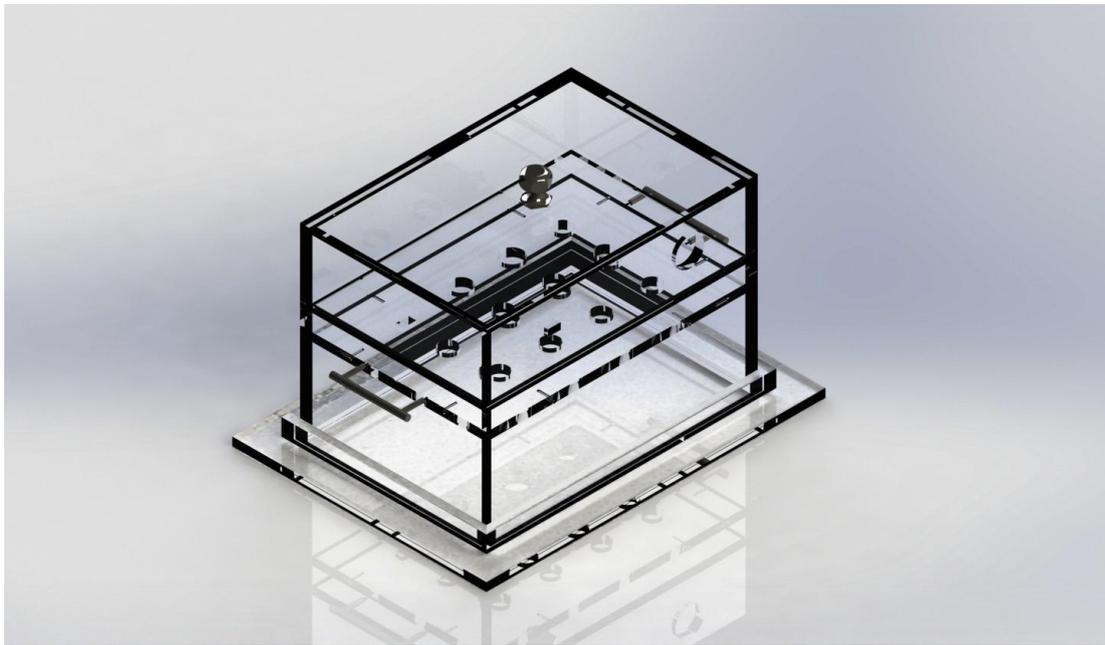
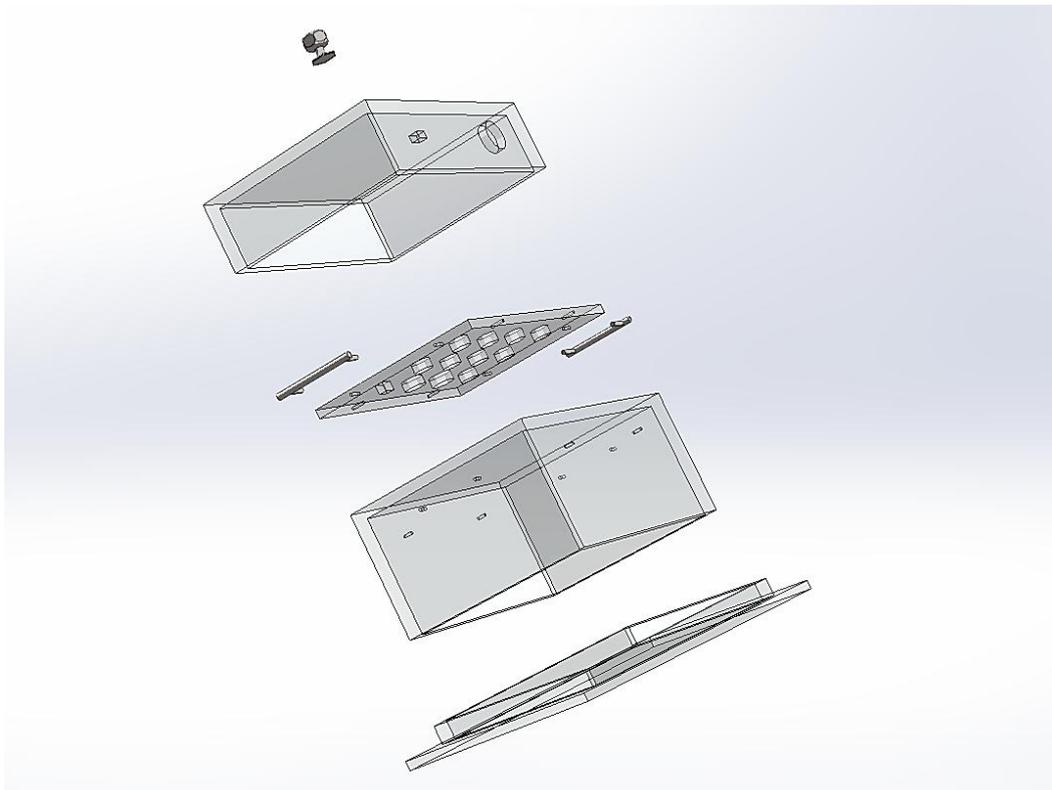


Figura 82

Vista explotada de prototipo



2.11.2 Materiales y propiedades

El acrílico es un material versátil con el cual se realizará la elaboración y ensamble del prototipo en su mayor parte, puesto que es muy resistente a impactos y provee de claridad óptica permitiendo la visibilidad de los alimentos durante el proceso de monitoreo.

Algunas propiedades de este material de interés para nuestro proyecto son:

- Es altamente transparente, permitiendo la observación directa de los sensores y el interior de la cámara.
- Tiene una transmisión de luz del 92%, similar al vidrio.
- Es muy liviano, lo que facilita la manipulación y el transporte de la cámara.
- Tiene buena estabilidad estructural para mantener un sellado hermético.
- Reduce la absorción de compuestos químicos, minimizando la contaminación cruzada entre pruebas.
- Resiste temperaturas de hasta 80-100°C sin deformarse, adecuada para condiciones de prueba moderadas.

Por su parte, las agarraderas serán de acero inoxidable, puesto que este material es altamente resistente a la corrosión y de fácil limpieza. Esta combinación de materiales garantiza la integridad del equipo y su funcionalidad a largo plazo.

2.11.3 Ensamblaje

Figura 83

Vista explotada isométrica de prototipo

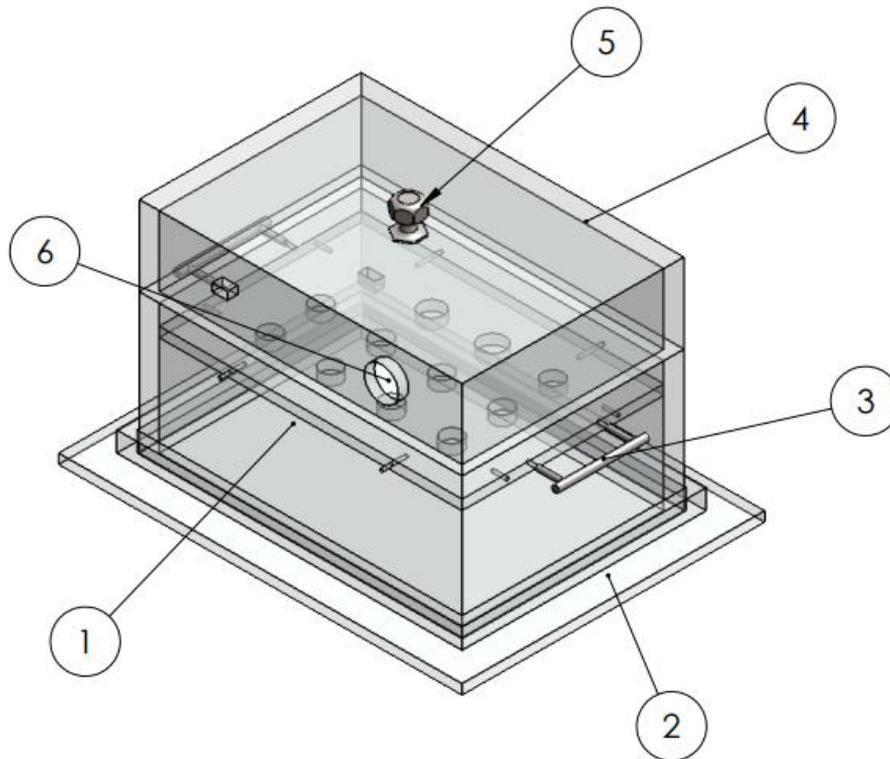


Tabla 31

Lista de piezas vista explotada isométrica

LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	CÁMARA DE GASES
2	1	BASE DE PROTOTIPO
3	2	MANGO LATERAL
4	1	CARCASA DE CIRCUITOS
5	1	AGARRADERA DE TAPA
6	1	BASE DE SENSORES DE GAS

CAPÍTULO III

3.1 Resultados y análisis

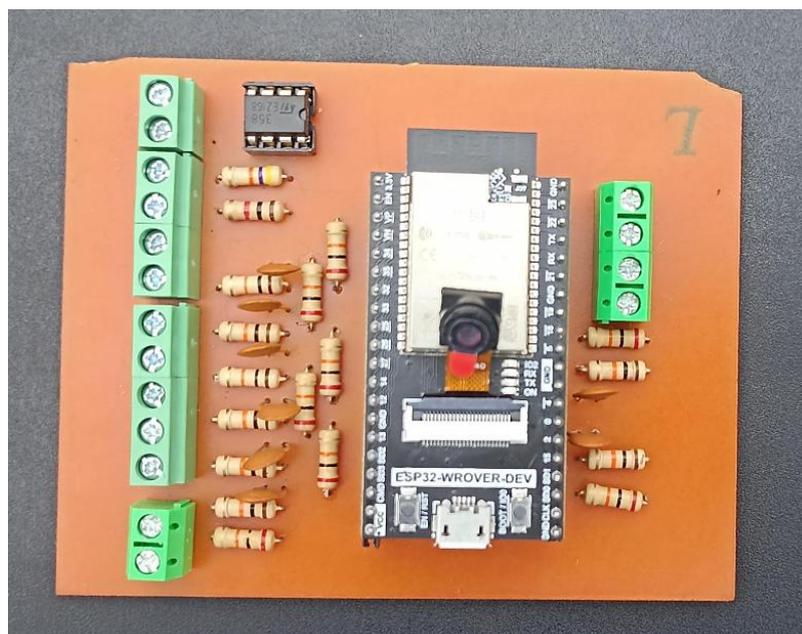
En este capítulo se presentarán los resultados junto a sus respectivos análisis de las pruebas realizadas a los alimentos ingresados en el prototipo de nariz electrónica. Esta sección se divide en tres partes: la implementación del circuito, ensamblaje del equipo y programación en el entorno QT-CREATOR. Adicional a ello, se mostrará la lista de valores correspondientes a cada uno de los componentes necesarios para el ensamblaje del equipo.

3.2 Implementación del circuito

Para la implementación del circuito electrónico, se diseñó y fabricó un PCB con dimensiones de 80 x 74.5 milímetros. Esta fabricación incluye espadines para la instalación del microcontrolador, borneras dedicadas para la conexión de alimentación y tierra de los sensores, así como borneras específicas para las señales analógicas de los sensores. Cada entrada analógica cuenta con su respectivo divisor de voltaje y un capacitor de filtrado, asegurando la estabilidad y precisión de las señales procesadas, así como el amplificador operacional correspondiente para la amplificación de la señal de voltaje generada por el sensor de oxígeno.

Figura 84

Implementación circuito electrónico



Se verificó el correcto funcionamiento del circuito mediante la comprobación de continuidad entre las pistas correspondientes. Posteriormente, con la placa energizada, se llevó a cabo una evaluación de las señales presentes en cada pin analógico del ESP32, confirmando que los divisores de voltaje y los capacitores de filtrado cumplieran adecuadamente sus respectivas funciones.

3.3 Ensamblaje del equipo

Para la construcción del prototipo, se llevó a cabo un procedimiento basado en los materiales requeridos. Utilizando una plancha de acrílico transparente de 10 mm de espesor como material principal, se realizaron cortes precisos mediante tecnología CNC láser, permitiendo el ensamblaje tanto de la estructura principal del prototipo como de la base destinada a los sensores, tal como se muestra en las siguiente figuras

Figura 85

Corte CNC láser de estructura principal de prototipo

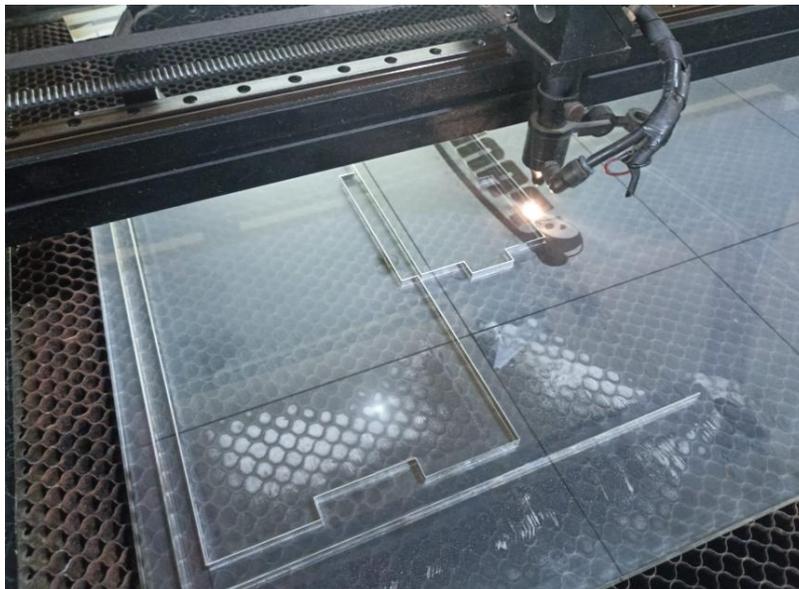
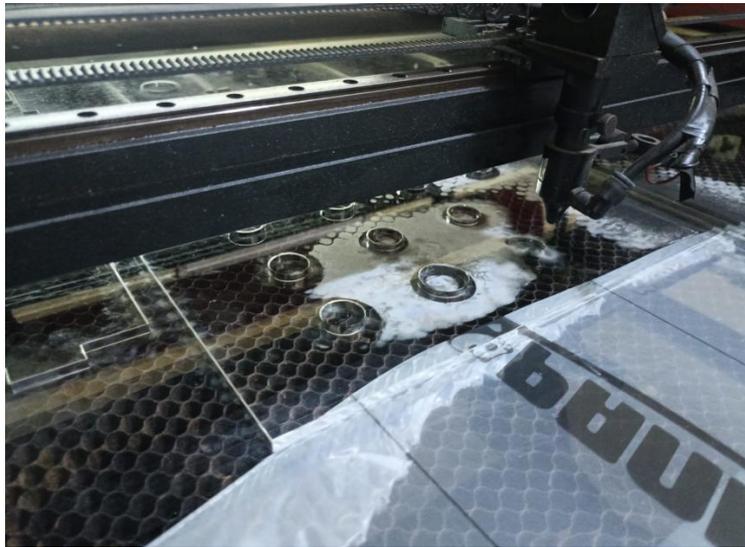


Figura 86

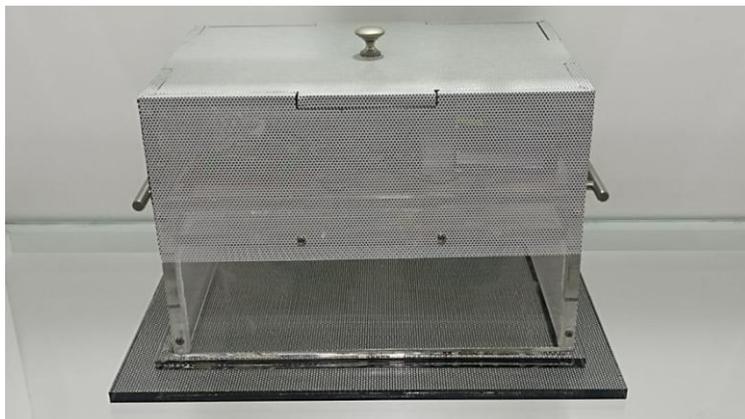
Corte CNC láser de base de sensores



Las uniones de las piezas se llevaron a cabo utilizando cemento acrílico, un adhesivo plástico que proporciona una fijación sólida entre las superficies de acrílico. Para garantizar el correcto sellado hermético de la cámara de gases, fue indispensable añadir en las uniones internas silicona transparente. Cabe recalcar que en la parte superior correspondiente a la altura física visible de la carcasa de circuitos y base de sensores se añadió vinil adhesivo microperforado con el objetivo de mejorar su apariencia estética y brindar un acabado visualmente más atractivo.

Figura 87

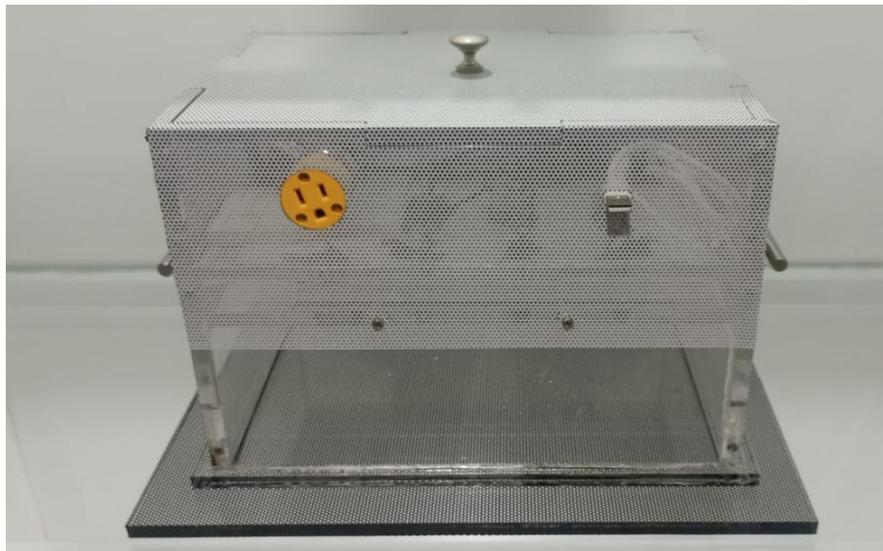
Vista frontal del prototipo



Para finalizar, el prototipo incorpora dos conexiones ubicadas en la parte posterior. La primera está destinada a la conexión de una extensión de 110V, necesaria para alimentar la fuente conmutada que suministra energía a los sensores de gas. La segunda conexión corresponde a un puerto USB, al cual se conecta una extensión que permite la vinculación con el puerto correspondiente de un ordenador de escritorio. Esta conexión facilita tanto la descarga del programa al microcontrolador como la comunicación serial requerida para interactuar con la interfaz gráfica desarrollada en Qt Creator.

Figura 88

Vista posterior del prototipo



3.4 Programación

A lo largo de la construcción del programa, se realizaron diversas pruebas para verificar el correcto ingreso y envío de datos por medio del microcontrolador. De igual manera se detallan los experimentos empleados con el circuito integrado en la maqueta final correspondiente a la cámara de gases y cámara de sensores – dispositivos electrónicos.

3.4.1 Programación del microcontrolador

Para poder monitorear los diferentes sensores que se activan o desactivan de acuerdo al estudio del alimento de interés, se desarrolló un código para la ESP32, en donde se encargaría de recibir las señales que enviaba el código generado por el HMI.

Al momento de correr el programa, se obtuvieron las siguientes lecturas por parte de los sensores colocados en el prototipo tal como se muestra en la Figura 89.

Figura 89

Resultados obtenidos por los sensores sin alimento en la cámara

```
Humedad: 59.30 %
Temperatura: 32.30 °C
ADC: 458 Voltaje: 0.369 V C3H8: 3.85 ppm
ADC: 697 Voltaje: 0.562 V C2H6O: 0.06 mg/L
ADC: 2032 Voltaje: 1.638 V CH4: 54.73 ppm
ADC: 69 Voltaje: 0.056 V GLP: 14.03 ppm
ADC: 113 Voltaje: 0.091 V CO: 0.69 ppm
ADC: 203 Voltaje: 0.164 V H: 47.32 ppm
ADC: 366 Voltaje: 0.295 V H2S: 0.11 ppm
ADC: 1079 Voltaje: 0.870 V NH3: 0.05 ppm
ADC: 509 Voltaje: 0.410 V O: 21.23 %
Concentración de CO2: 500 ppm
Humedad: 59.30 %
Temperatura: 32.30 °C
ADC: 455 Voltaje: 0.367 V C3H8: 3.79 ppm
ADC: 699 Voltaje: 0.563 V C2H6O: 0.06 mg/L
ADC: 2032 Voltaje: 1.638 V CH4: 54.73 ppm
ADC: 70 Voltaje: 0.056 V GLP: 14.53 ppm
ADC: 115 Voltaje: 0.093 V CO: 0.71 ppm
ADC: 203 Voltaje: 0.164 V H: 47.32 ppm
ADC: 365 Voltaje: 0.294 V H2S: 0.11 ppm
ADC: 1079 Voltaje: 0.870 V NH3: 0.05 ppm
ADC: 507 Voltaje: 0.409 V O: 21.15 %
Concentración de CO2: 500 ppm
```

Se muestra los valores correspondientes al entorno que se encuentra expuesta la cámara de gases, obteniendo, así como condiciones iniciales que dentro de dicha cámara existe una temperatura de 32.30 °C y una humedad del 59.30%, es decir que estos niveles son óptimos para el estudio propuesto. Cabe mencionar que el rango aceptable de humedad para los estudios de alimentos dentro de interiores debe ser entre el 30% hasta el 60%, y cuando este valor supera

el 70% de humedad puede generar partículas que contaminen el material orgánico que se encuentre dentro de la cámara, esto se ve afectado por la temperatura a la cual se encuentre expuesto el prototipo, es por ello que se tiene en cuenta estos parámetros para garantizar resultados favorables para la investigación.

Luego de tomar en cuenta las condiciones iniciales de la cámara, se procede a recolectar la información correspondiente a los sensores de la serie MQ, al sensor KE25 y al sensor MH-Z19B, en donde se toma en cuenta el valor digital a través de un convertidor analógico – digital correspondiente al microcontrolador. Posterior a ello, se mide el voltaje que consume cada sensor y de esta manera comparar los valores de su resistencia inicial R_0 y su cambio a lo largo del estudio. Esto permite medir y obtener las concentraciones de los diferentes gases presentes en la cámara.

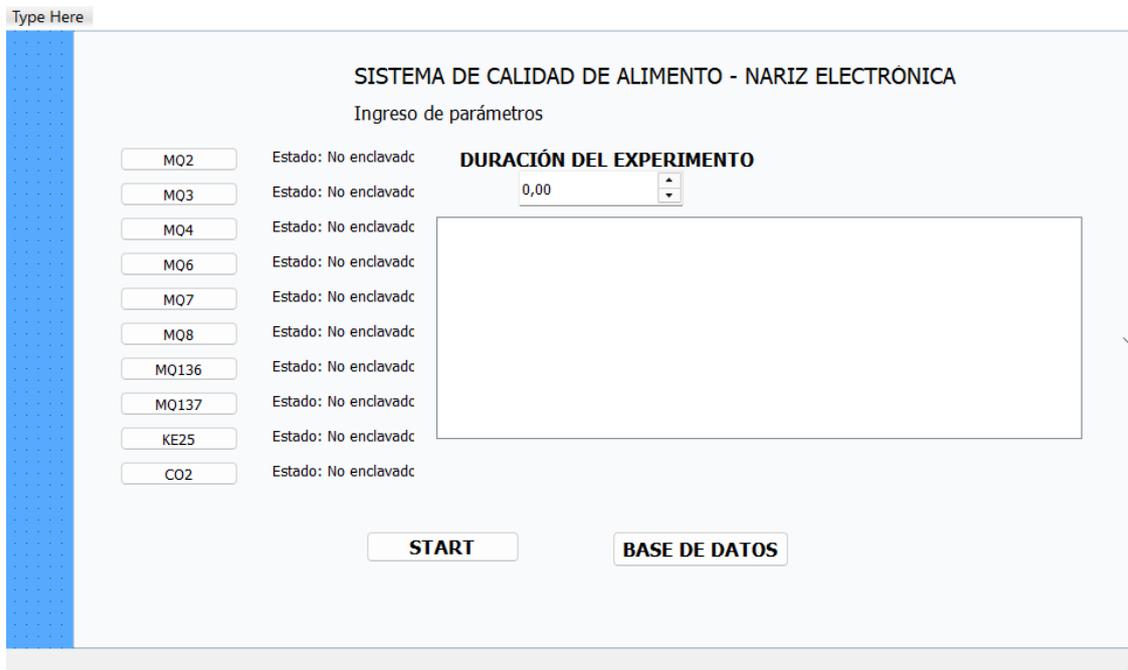
Cabe destacar que las concentraciones mostradas en pantalla se deberán encontrar dentro de los rangos establecidos por cada uno de los sensores, estos valores son mostrados en el apartado de ANEXO A. CURVAS DE SENSIBILIDAD DE SENSORES DE GAS, en donde los gases analizados son aquellos a los que cada sensor tiene mayor sensibilidad.

3.4.2 Aplicación de escritorio

En este apartado se muestran las capturas de pantalla correspondientes a la aplicación realizada en la plataforma QT-CREATOR, en donde se recolectaron los diferentes datos en una tabla incorporada en la pantalla principal. Se incluye la ventana principal de la aplicación en la Figura 90 y se detalla los pasos que se deben seguir para su correcto funcionamiento.

Figura 90

Pantalla principal de la aplicación en QT-CREATOR



Dentro de la pantalla principal se puede observar las botoneras correspondientes a los sensores, esto permitirá la activación y desactivación de los mismos. Al momento de dar click en cualquiera de los botones, se resaltará de color azul y el mensaje a su lado cambiará a decir “Activado” y los botones que no sean presionados se mantendrán de color neutral y su mensaje será “Desactivado”, esto permitirá que el usuario pueda visualizar el estado del botón.

En la parte superior, sobre la tabla de datos, se encuentra la duración del experimento, esto hace referencia al valor en horas o minutos que se desea que el sistema se encuentre en funcionamiento. Al iniciar el programa, el valor por defecto será de 0,00, pero como se indica en el recuadro, el valor a ingresar será de (hora, minutos), teniendo en cuenta que el valor máximo de horas que podría permanecer encendido el equipo será de 99 y a su vez el valor máximo de minutos será de 59.

Una vez seleccionados los sensores de interés de estudio y el tiempo que se desea que trabaje el equipo, se procede a presionar el botón “Start”, esto permitirá que el sistema envíe los datos de las botoneras y a su vez reciba los valores obtenidos por los sensores, cada cierto periodo de tiempo se irá obteniendo los valores y de manera automática se irá completando la tabla hasta culminar el tiempo establecido por el usuario. Por otra parte, al momento de presionar “Base de Datos”, se podrá exportar los datos obtenidos de la prueba realizada por el prototipo.

Al momento de presionar el botón “Start”, el sistema procede a recolectar la información referente a la calidad del alimento a través de la comunicación serial existente entre la aplicación de QT y el microcontrolador, en donde recibirá los parámetros de interés de acuerdo con las botoneras previamente seleccionadas. Simultáneamente se recopilará la información en la tabla, obteniendo de esta manera los valores de interés por parte del usuario.

En la tabla ubicada en la pantalla principal del programa, se podrá visualizar los datos obtenidos en las pruebas y se documentará en la base de datos información como:

1. Estado
2. Humedad
3. Temperatura
4. MQ2 - C3H8
5. MQ3 - C2H6O
6. MQ4 - CH4
7. MQ6 - GLP
8. MQ7 - CO
9. MQ8 - H
10. MQ136 – H2S

11. MQ137 – NH3
12. KE25 - O2
13. MH-Z19B - CO2

Después de que se culmine el tiempo de muestreo, los valores quedarán registrados exitosamente en la base de datos del archivo CSV.

Una vez configurados los botones y el tiempo de muestreo, se puede observar en pantalla los datos enviados al microcontrolador y los datos recibidos al programa, así como también la conversión de horas y minutos a milisegundos, debido a que este valor deberá ser interpretado por el programa.

Cuando se cumpla el tiempo de muestreo, se podrá guardar los datos registrados en el archivo CSV, a través del botón “Base de Datos”, los cuales permitirán la visualización de los datos obtenidos en la prueba a través de un archivo Excel.

3.5 Validación y Pruebas

Figura 91

Registro de datos en archivo CSV

Row	Column A	Column B	Column C	Column D	Column E	Column F	Column G	Column H	Column I	Column J	Column K	Column L	Column M	Column N	Column O	Column P	Column Q	Column R	
1	Estado,Humedad,Temperatura,MQ2,MQ3,MQ4,MQ6,MQ7,MQ8,MQ136,MQ137,O2,CO2																		
2	Sistema activado,55.90 %,30.70 °C,9.93 ppm,324.75 ppm,24285.09 ppm,63.86 ppm,0.00 ppm,97.00 ppm,3.02 ppm,1.52 ppm,29.72 %,1085																		
3	55.90 %,30.70 °C,9.82 ppm,324.75 ppm,24553.21 ppm,63.86 ppm,0.00 ppm,97.84 ppm,3.00 ppm,1.53 ppm,29.78 %,1084																		
4	55.90 %,30.80 °C,9.88 ppm,324.75 ppm,24553.21 ppm,63.86 ppm,0.00 ppm,97.00 ppm,3.00 ppm,1.53 ppm,29.72 %,1084																		
5	55.90 %,30.80 °C,9.88 ppm,325.35 ppm,24553.21 ppm,63.86 ppm,0.00 ppm,96.71 ppm,3.02 ppm,1.52 ppm,29.66 %,1084																		
6	55.90 %,30.80 °C,9.88 ppm,325.96 ppm,24418.78 ppm,67.53 ppm,0.00 ppm,95.86 ppm,3.06 ppm,1.53 ppm,31.47 %,1084																		
7	55.90 %,30.80 °C,9.93 ppm,326.57 ppm,24688.37 ppm,65.07 ppm,0.00 ppm,97.28 ppm,3.02 ppm,1.52 ppm,29.78 %,1084																		
8	55.90 %,30.80 °C,9.93 ppm,325.96 ppm,24553.21 ppm,65.07 ppm,0.00 ppm,97.00 ppm,3.04 ppm,1.53 ppm,29.66 %,1084																		
9	55.90 %,30.80 °C,9.77 ppm,324.75 ppm,24418.78 ppm,65.07 ppm,0.00 ppm,97.00 ppm,3.00 ppm,1.52 ppm,29.66 %,1084																		
10	55.90 %,30.80 °C,9.88 ppm,326.57 ppm,24553.21 ppm,65.07 ppm,0.00 ppm,96.71 ppm,3.00 ppm,1.53 ppm,29.66 %,1083																		
11	55.90 %,30.80 °C,9.77 ppm,325.35 ppm,24620.68 ppm,66.29 ppm,0.00 ppm,97.00 ppm,3.04 ppm,1.53 ppm,29.78 %,1083																		
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			

Figura 92

Equipo en funcionamiento



Figura 93

Cámara de obtención de gases a partir del alimento de estudio

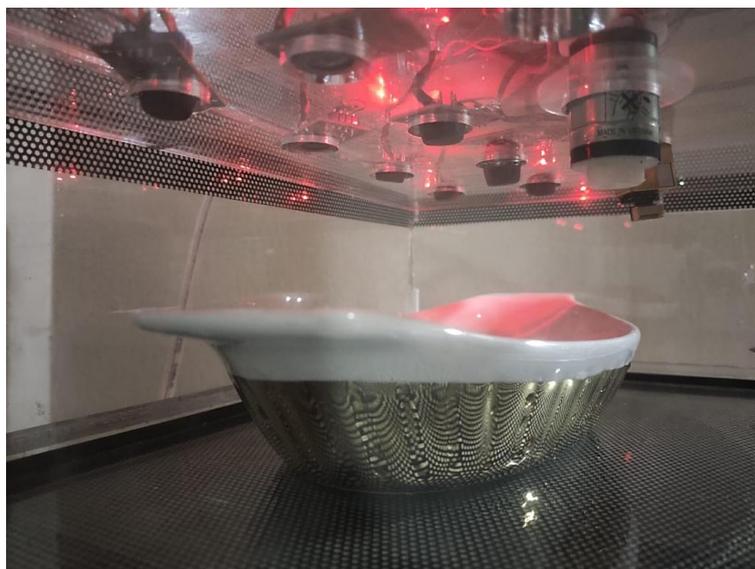
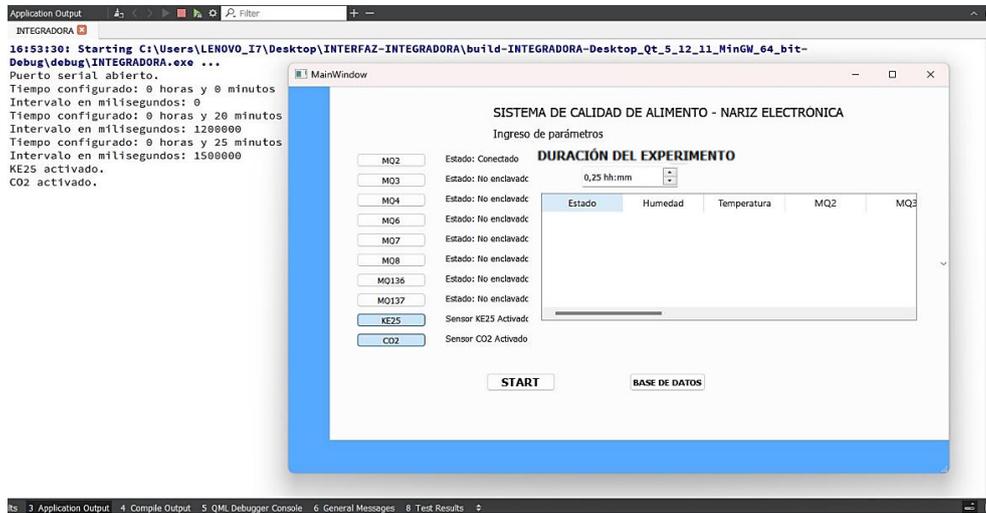


Figura 94

Toma de datos de equipo con vinagre y bicarbonato de sodio



Para la primera prueba, se colocó en el interior de la cámara de gases un recipiente con vinagre y bicarbonato de sodio, esta mezcla es considerada por mantenerse los valores de Oxígeno y elevar el nivel de CO2 en el ambiente, con el paso del tiempo, deberá disminuir proporcionalmente el valor recibido por parte del sensor. Para ello, se tomarán en cuenta los sensores KE25 y MH-Z19B, en donde se estudiarán los gases antes mencionados y el tiempo que permanecerá activado el sensor será de 25 minutos, es decir, un valor de 1500000 milisegundos que va a tomar el programa para su funcionamiento.

Figura 95

Resultados obtenidos por los sensores con vinagre y bicarbonato de sodio

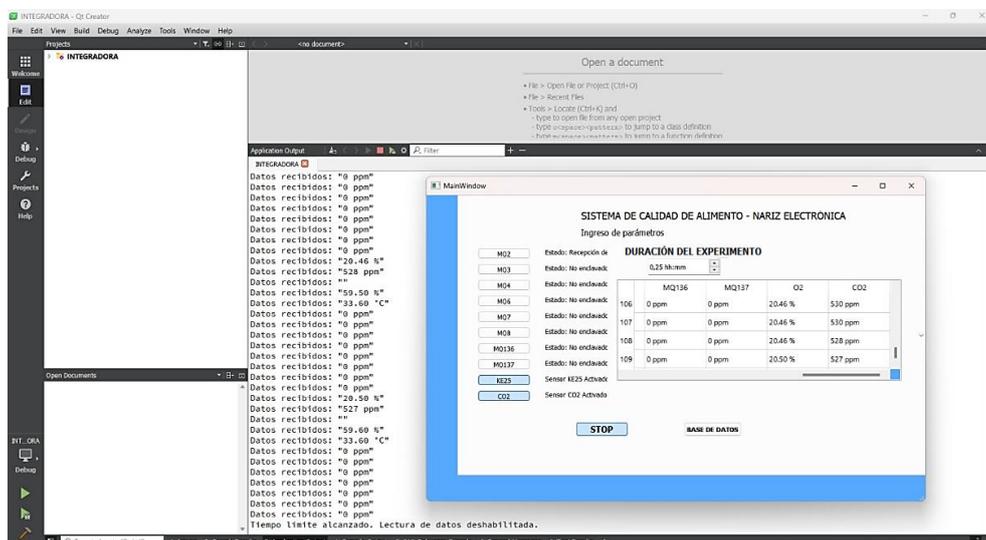


Figura 96

Resultados obtenidos por el sensor de Humedad durante la prueba #1

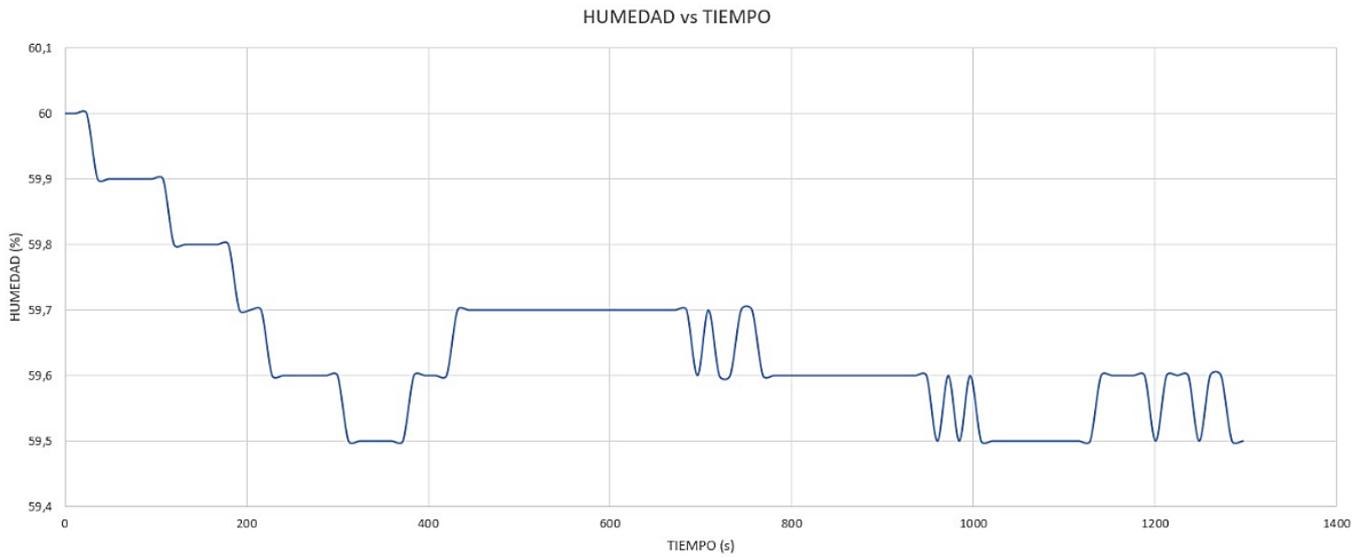


Figura 97

Resultados obtenidos por el sensor de Temperatura durante la prueba #1

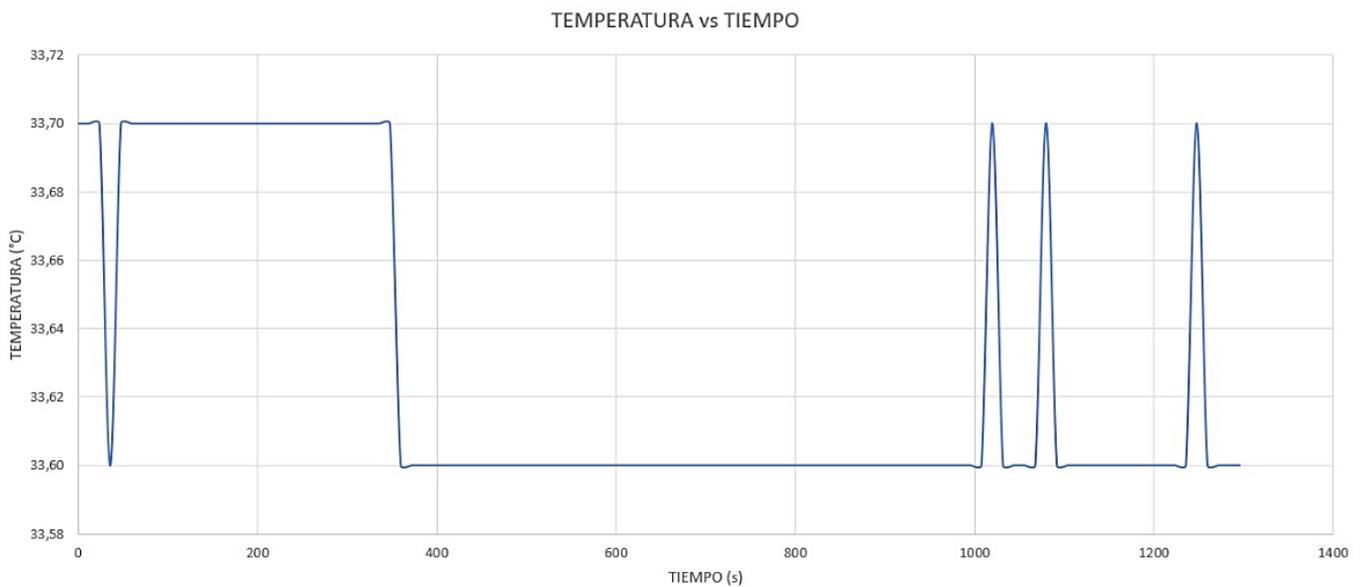


Figura 98

Resultados obtenidos por el sensor de Oxígeno durante la prueba #1

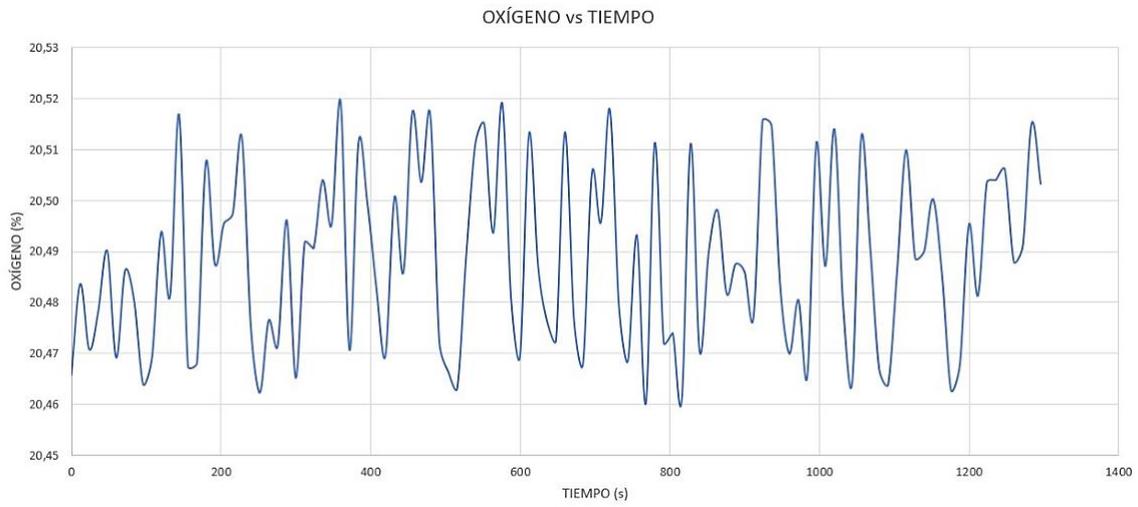
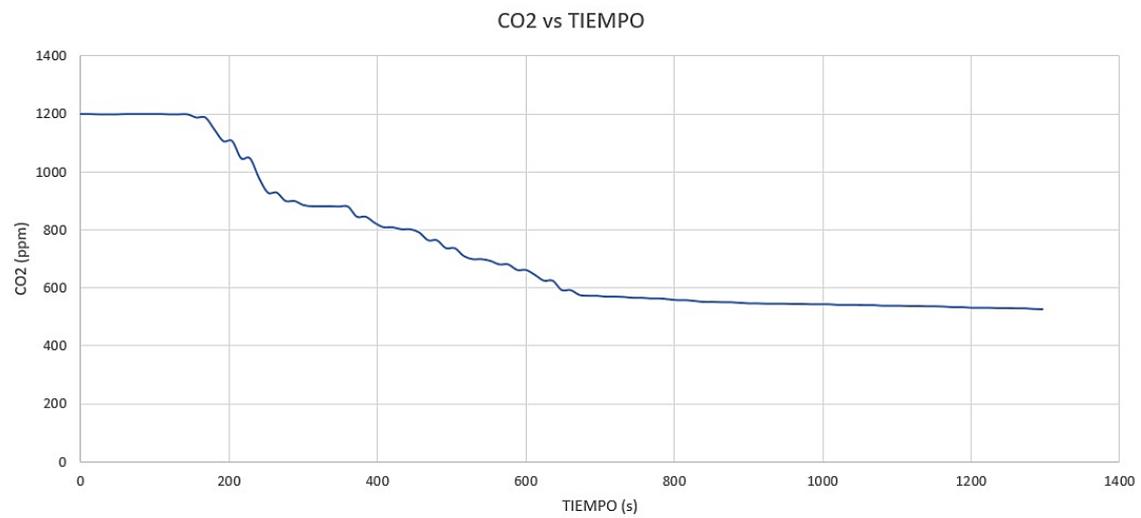


Figura 99

Resultados obtenidos por el sensor de CO2 durante la prueba #1



De acuerdo a los datos mostrados en las figuras anteriores, se puede observar que el interior del prototipo se encuentra un entorno óptimo para el estudio de la prueba, en este caso, se tienen los valores de 59,5% de nivel de humedad y una temperatura de 33,6 °C.

Como se mencionó previamente, el nivel de oxígeno dentro de la cámara no debía cambiar con el paso del tiempo y observando los resultados de la Figura 98, se pudo evidenciar que el porcentaje de oxígeno oscilaba entre el 20,46% y el 20,52% es decir que no muestra un cambio notorio en este parámetro y se llega a la conclusión de que el sensor activado está funcionando correctamente. De igual forma se evidencia un aumento inmediato en el nivel de CO2 dentro de la cámara, y posterior a la reacción, se puede observar en la Figura 99, como dicho nivel disminuye con el paso del tiempo.

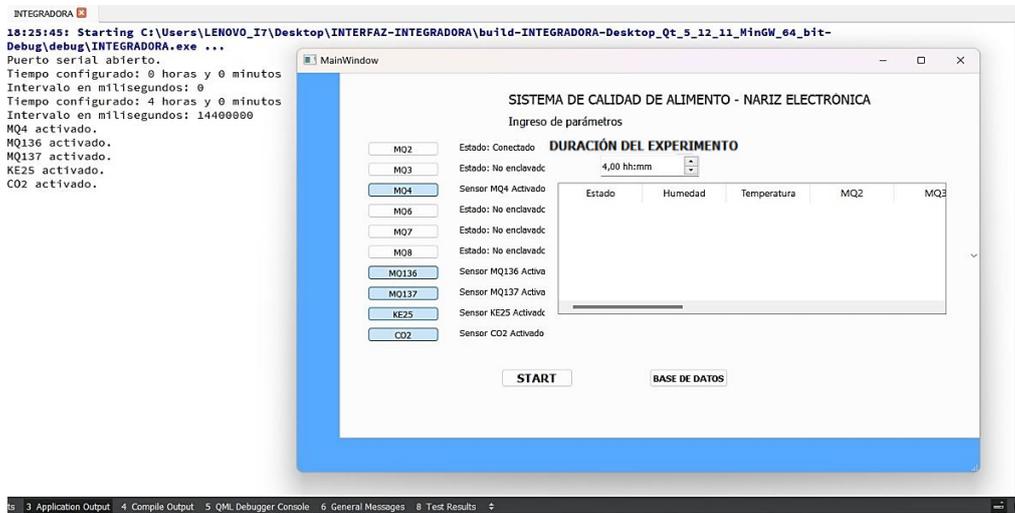
Figura 100

Exportación de datos obtenidos en archivo .csv de prueba #1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Tiempo	Humedad	Temperatura	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ7	MQ8	MQ136	MQ137	O2	CO2			
2		0 60.00%	33.70 °C	0 ppm	20.07%	1198 ppm										
3		12 60.00%	33.70 °C	0 ppm	19.98%	1198 ppm										
4		24 60.00%	33.70 °C	0 ppm	20.29%	1197 ppm										
5		36 59.90%	33.60 °C	0 ppm	20.07%	1197 ppm										
6		48 59.90%	33.70 °C	0 ppm	20.20%	1197 ppm										
7		60 59.90%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1198 ppm										
8		72 59.90%	33.70 °C	0 ppm	20.20%	1198 ppm										
9		84 59.90%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1198 ppm										
10		96 59.90%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1198 ppm										
11		108 59.90%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1198 ppm										
12		120 59.80%	33.70 °C	0 ppm	20.20%	1197 ppm										
13		132 59.80%	33.70 °C	0 ppm	21.15%	1197 ppm										
14		144 59.80%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1197 ppm										
15		156 59.80%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1186 ppm										
16		168 59.80%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1186 ppm										
17		180 59.80%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1145 ppm										
18		192 59.70%	33.70 °C	0 ppm	20.11%	1105 ppm										
19		204 59.70%	33.70 °C	0 ppm	20.20%	1105 ppm										
20		216 59.70%	33.70 °C	0 ppm	20.16%	1046 ppm										
21		228 59.60%	33.70 °C	0 ppm	20.20%	1046 ppm										
22		240 59.60%	33.70 °C	0 ppm	20.03%	979 ppm										

Figura 101

Toma de datos de equipo con muestra de pescado



Para la segunda prueba, se colocó en el interior de la cámara de gases un recipiente con pescado, este alimento se enfoca en generar sulfuro, de hidrógeno, amoníaco, CO2 y metano en el ambiente. Para ello, se tomarán en cuenta los sensores MQ4, MQ136, MQ137, KE25 y MH-Z19B, en donde se estudiarán los gases antes mencionados y el tiempo que permanecerá activado el sensor será de 4 horas, es decir, un valor de 14400000 milisegundos que va a tomar el programa para su funcionamiento.

Figura 102

Resultados obtenidos por los sensores con muestra de pescado

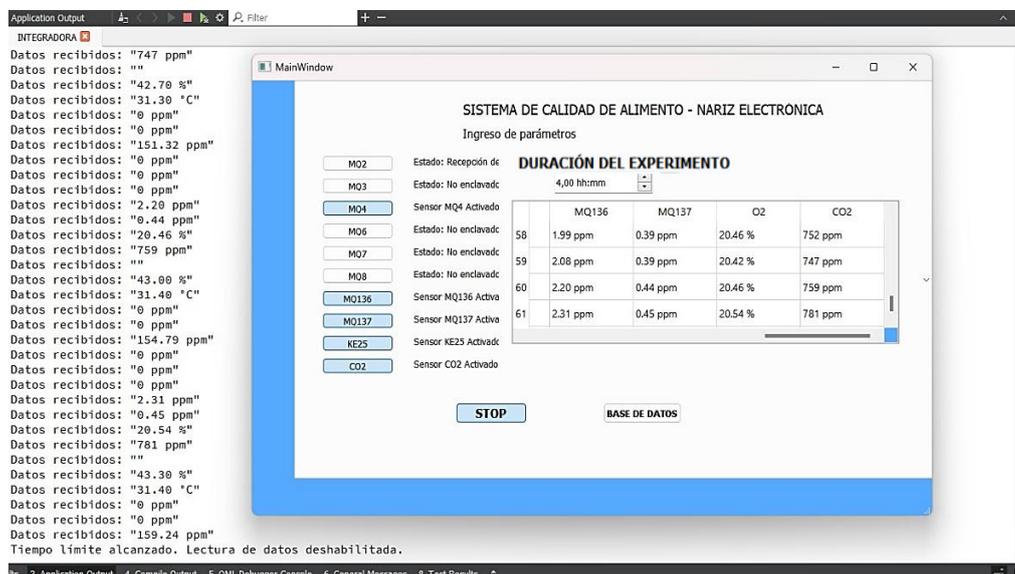


Figura 103

Resultados obtenidos por el sensor de Humedad durante la prueba #2

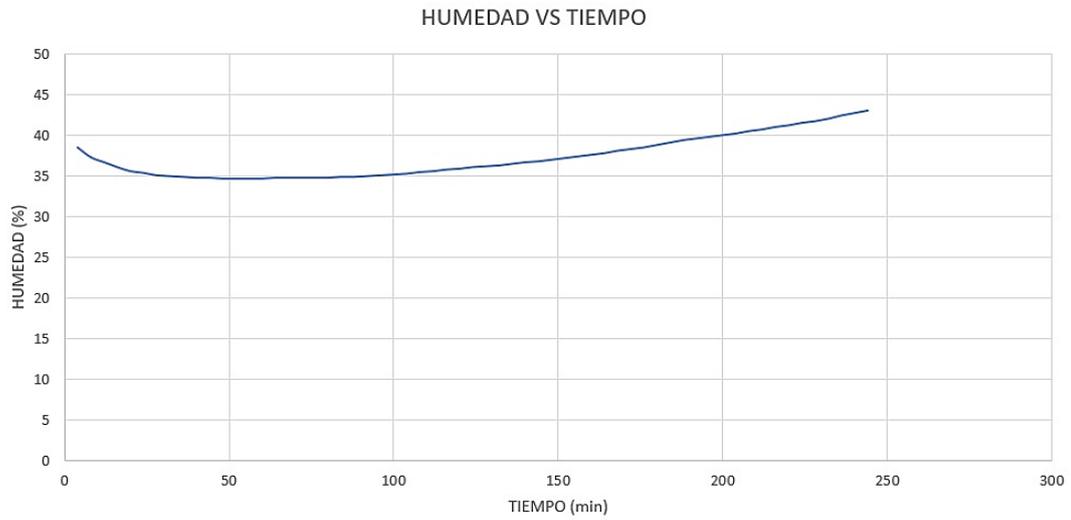


Figura 104

Resultados obtenidos por el sensor de Temperatura durante la prueba #2

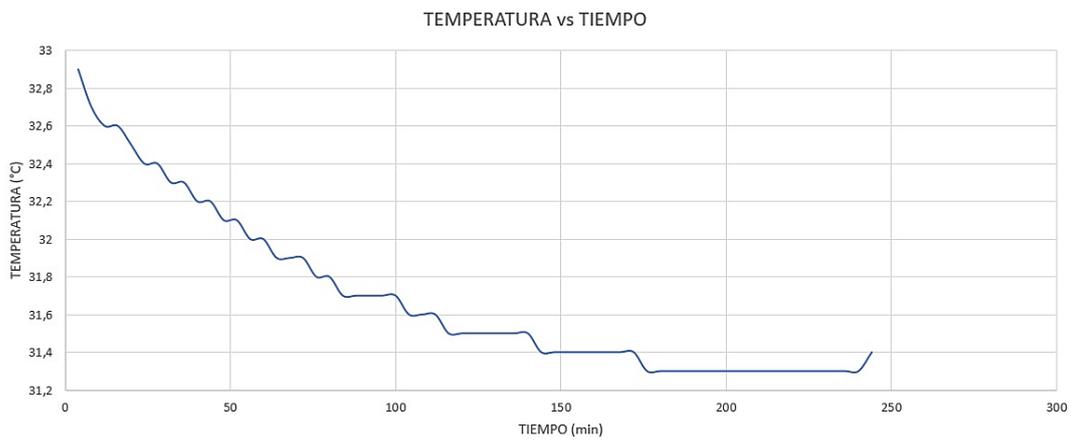


Figura 105

Resultados obtenidos por el sensor de Metano durante la prueba #2

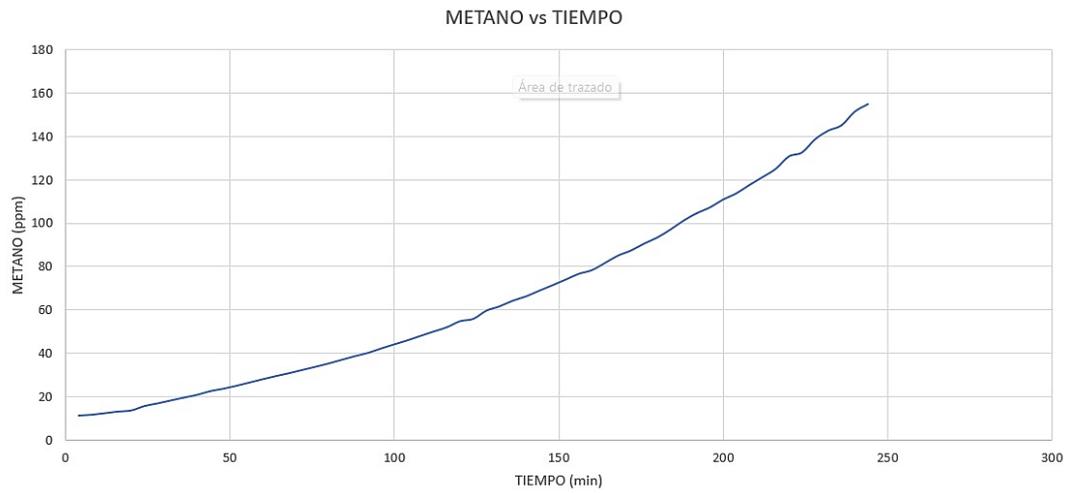


Figura 106

Resultados obtenidos por el sensor de Sulfuro de Hidrógeno durante la prueba #2

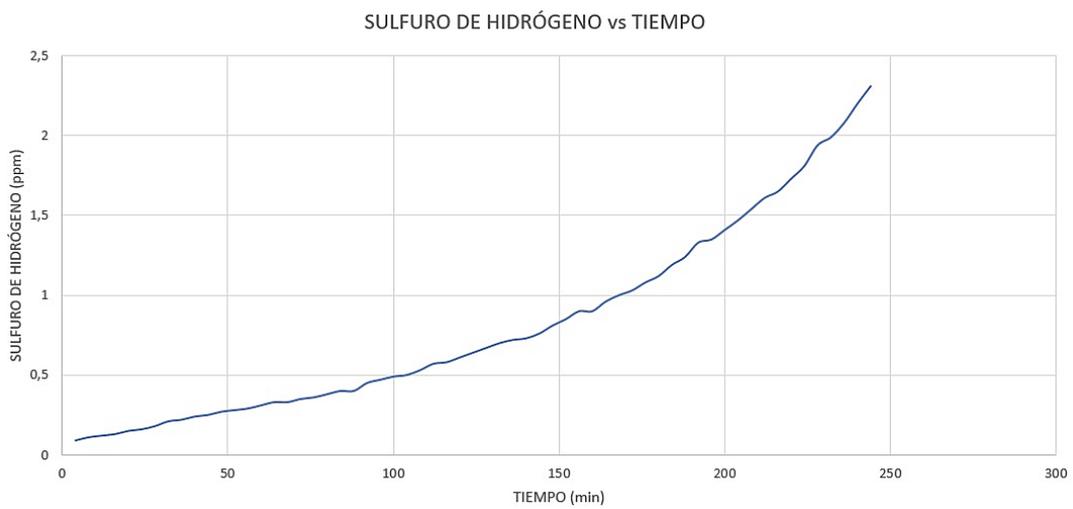


Figura 107

Resultados obtenidos por el sensor de Amoniaco durante la prueba #2

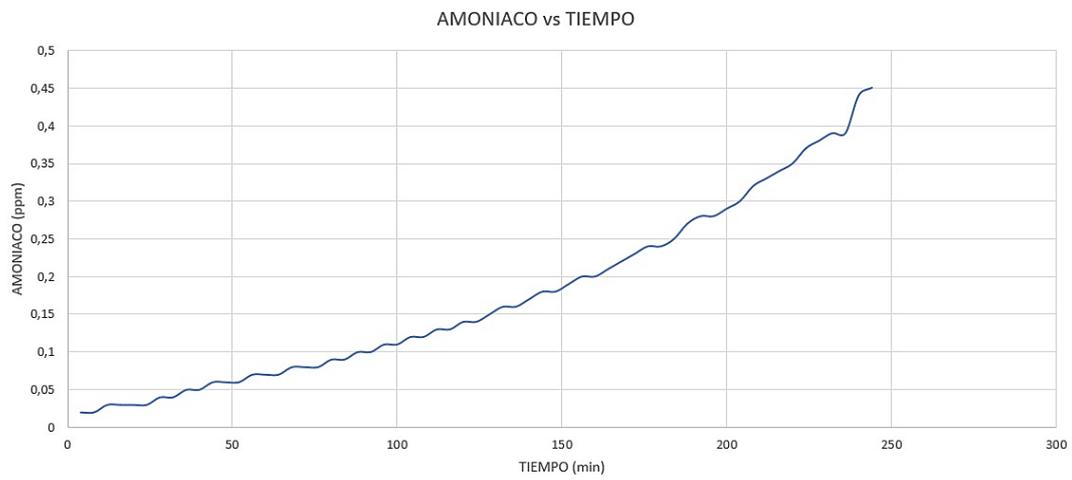


Figura 108

Resultados obtenidos por el sensor de Oxigeno durante la prueba #2

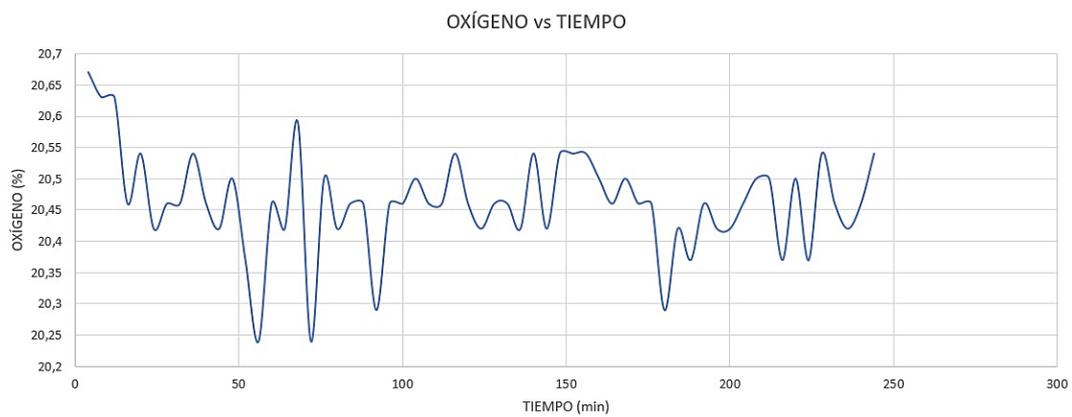


Figura 109

Resultados obtenidos por el sensor de Oxígeno durante la prueba #2



De acuerdo a los datos mostrados en las figuras anteriores, se puede observar que el interior del prototipo se encuentra un entorno óptimo para el estudio de la prueba, en este caso, se tienen los valores de 35% a 45% de nivel de humedad y una temperatura de 31,4 °C.

Los resultados obtenidos en las figuras correspondientes a los gases expulsados por los alimentos fueron notorios, debido a que existió un incremento en las concentraciones de los gases que se vieron afectados por el tiempo que estuvo el alimento expuesto en la cámara.

Esto indica que este alimento produce una mayor cantidad de gases que la prueba #1 y estos gases emanados son más invasivos y no se reducen con el paso del tiempo, sino que aumenta su concentración lo que genera un mayor olor, inclusive desagradable para la nariz humana.

Figura 110

Exportación de datos obtenidos de la prueba #2 en archivo .csv

Estado	Humedad	Temperatura	MQ2	MQ3	MQ4	MQ6	MQ7	MQ8	MQ136	MQ137	O2	CO2					
Sistema acti	38,5	32,9	0 ppm	0 ppm	11,23	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,09	0,02	20,67	404					
	37,3	32,7	0 ppm	0 ppm	11,6	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,11	0,02	20,63	401					
	36,7	32,6	0 ppm	0 ppm	12,31	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,12	0,03	20,63	403					
	36,1	32,6	0 ppm	0 ppm	13,06	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,13	0,03	20,46	404					
	35,6	32,5	0 ppm	0 ppm	13,57	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,15	0,03	20,54	407					
	35,4	32,4	0 ppm	0 ppm	15,6	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,16	0,03	20,42	407					
	35,1	32,4	0 ppm	0 ppm	16,82	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,18	0,04	20,46	408					
	35	32,3	0 ppm	0 ppm	18,17	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,21	0,04	23,22	409					
	34,9	32,3	0 ppm	0 ppm	19,51	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,22	0,05	20,54	417					
	34,8	32,2	0 ppm	0 ppm	20,77	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,24	0,05	20,46	432					
	34,8	32,2	0 ppm	0 ppm	22,48	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,25	0,06	20,42	434					
	34,7	32,1	0 ppm	0 ppm	23,59	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,27	0,06	20,5	436					
	34,7	32,1	0 ppm	0 ppm	24,95	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,28	0,06	20,37	456					
	34,7	32	0 ppm	0 ppm	26,46	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,29	0,07	20,24	463					
	34,7	32	0 ppm	0 ppm	27,98	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,31	0,07	20,46	471					
	34,8	31,9	0 ppm	0 ppm	29,42	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,33	0,07	20,42	475					
	34,8	31,9	0 ppm	0 ppm	30,76	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,33	0,08	20,59	467					
	34,8	31,9	0 ppm	0 ppm	32,25	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,35	0,08	20,24	477					
	34,8	31,8	0 ppm	0 ppm	33,71	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,36	0,08	20,5	481					
	34,8	31,8	0 ppm	0 ppm	35,23	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,38	0,09	20,42	483					
	34,9	31,7	0 ppm	0 ppm	36,93	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0,4	0,09	20,46	488					

3.6 Calibración de sensores

Se llevó a cabo la calibración de los sensores de gas en un laboratorio certificado, específicamente en la empresa ELICROM. Este procedimiento se realiza con el objetivo de garantizar la precisión y confiabilidad de las mediciones obtenidas por los sensores, minimizando los errores asociados a desviaciones en su funcionamiento. La calibración permite establecer una correlación adecuada entre las señales eléctricas emitidas por los sensores y las concentraciones reales de los gases monitoreados, asegurando que el equipo de monitoreo de gases cumpla con los estándares de calidad requeridos para aplicaciones industriales, ambientales o de seguridad.

Figura 111

Procedimiento de calibración en laboratorio ELICROM



Para efectos de calibración se utilizó el método de comparación directa con materiales de referencia, en nuestro caso, con gases patrón para calibración.

Mencionar además que, en algunos casos se empleó un dilutor, como parte del procedimiento de calibración, con la finalidad de generar una mezcla de gases con concentraciones que se encuentren dentro de los rangos de sensibilidad de los sensores respectivos para poder llevar a cabo el proceso ajuste y validación de precisión.

Una vez realizado la calibración se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 112

Resultados de calibración

Componente <i>Component</i>	Unidad de Medida <i>Unit of Measurement</i>	Valor MRC <i>CRM Value</i>	Indicación Ítem <i>Item Reading</i>	Error de Medición (e) <i>Measurement Error (e)</i>	Incertidumbre (U) <i>Uncertainty (U)</i>	Factor de Cobertura (k) <i>Coverage factor</i>
H ₂ S	ppm	24,80	24,53	-0,27	0,78	2,00
CO	ppm	100,40	99,93	-0,47	2,1	2,00
CH ₄ (*)	ppm	627,3	624,66	-2,59	6,9	2,00
O ₂	%O ₂	18,18	18,26	0,08	0,36	2,01
NH ₃	ppm	49,2	50,39	1,19	2,5	2,00
C ₃ H ₄ (*)	ppm	1988	2003,16	15,16	20	2,00
CO ₂ (*)	ppm	1000,00	1004,60	4,60	20	2,00

3.7 Cotización de rubros

Tabla 32

Costo de materiales, diseño e implementación

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
			UNITARIO	TOTAL
			(USD)	(USD)
1	ESP32 Wrover Dev	1	12.00	12.00
2	Sensor MQ2	1	2.10	2.10
3	Sensor MQ3	1	2.10	2.10
4	Sensor MQ4	1	2.10	2.10
5	Sensor MQ6	1	2.10	2.10
6	Sensor MQ7	1	2.10	2.10
7	Sensor MQ8	1	2.10	2.10
8	Sensor MQ136	1	35.00	35.00
9	Sensor MQ137	1	32.32	32.32
10	Sensor Figaro KE25	1	103.20	103.20
11	Sensor MH-Z19B	1	49.75	49.75
12	Sensor DHT22	1	10.00	10.00
13	Fuente conmutada 5V 5 ^a	1	12.00	12.00
14	Resistencias	18	0.05	0.90
15	Capacitor 0.1 uF	8	0.10	0.80
16	Opamp LM358N	1	0.30	0.30
17	Tira espadines hembra	1	0.75	0.75

18	Zócalo 8 pines	1	0.10	0.10
19	Bornera 2 pines	7	0.20	1.40
20	Bornera 3 pines	1	0.30	0.30
21	Fabricación PCB	1	20.00	20.00
22	Cable USB	1	3.00	3.00
23	Extensión USB	1	3.00	3.00
24	Tomacorriente 110V	1	2.00	2.00
25	Extensión 110V	1	3.50	3.50
26	Acrílico Transparente 10mm	1	70.00	70.00
27	Corte CNC Láser de acrílico	1	30.00	30.00
28	Vinil Ahesivo Microperforado	1	5.00	5.00
29	Cemento acrílico	1	12.00	12.00
30	Silicona transparente	1	1.50	1.50
31	Agarradera lateral	2	1.25	2.50
32	Agarradera superior	1	1.25	1.25
33	Caucho 5 mm	1	1.25	1.25
34	Tornillos	20	0.05	1.00
35	Cable UTP CAT6	2	0.60	1.20
36	Termoencogible #3	2	0.85	1.70
37	Diseño e implementación		600.00	600.00
TOTAL				1030.32

Tabla 33

Costo de calibración realizada por Elicrom

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	Calibración de analizador de gases	1	253.00	253.00

En total la ejecución del proyecto tuvo un costo de 1.283,32 dólares. En el mercado actual, existen analizadores de gases con precios que oscilan entre \$700 y \$5.000; no obstante, estos equipos suelen estar limitados a la detección de un máximo de cuatro gases. En contraste, el prototipo desarrollado en este trabajo representa una ventaja comparativa significativa, ya que permite la detección de concentraciones de hasta diez gases, además de ofrecer capacidades de monitoreo de temperatura y humedad relativa.

CAPÍTULO IV

4.1 Conclusiones y Recomendaciones

En la siguiente sección se detallará las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a partir de la creación de un sistema de medición de calidad de alimento (Nariz Electrónica), el cual fue diseñado para el uso del laboratorio de Alimentos por parte de la Ph. D. Tania Guzmán en su investigación basada en la evaluación del Impacto de la Radiación UV-C y la Impregnación al Vacío en la Poscosecha de Agro productos con tecnologías novedosas no invasivas que no modifiquen la textura y el sabor de la comida.

4.1.1 Conclusiones

- Se logró comparar las diferentes tecnologías del mercado para la selección de los componentes más idóneos del proyecto generando un producto final económico y funcional.
- Se diseñó un sistema electrónico de medición de los diferentes parámetros fisicoquímicos a través de sensores seleccionados cuidadosamente para validar el estado de los alimentos.
- La implementación de un prototipo físico de nariz electrónica fue posible por medio de un diseño electrónico compacto que incluye en su estructura varios sensores de gases, una fuente conmutada y el microcontrolador ESP32 los cuales permiten una medición adecuada de parámetros reales de los alimentos.
- La aplicación software de PC de monitoreo fue realizada en el software QT CREATOR donde se desarrolló una interfaz gráfica (HMI) para poder visualizar y guardar los valores recibidos por medio de comunicación USB en una base de datos.
- El sistema implementado se lo validó en el laboratorio solicitado por la Ph. D. Tania María Guzmán Armenteros donde se realizaron pruebas reales y el producto demostró

un gran desempeño, confiabilidad y eficacia al momento de tomar los parámetros de los alimentos.

4.1.2 Recomendaciones

- Para el uso del equipo, es fundamental ubicarlo en un entorno estable y libre de contaminantes para asegurar su correcto funcionamiento y garantizar su estabilidad y precisión.
- En caso de requerir repuestos de elementos electrónicos o el reemplazo de sensores de gas, se recomienda mantener el uso de los componentes iniciales, en especial del sensor KE-25, de esta manera aseguraremos el correcto funcionamiento del equipo y precisión en los datos de concentración obtenidos.
- Se sugiere, para trabajos futuros, el diseño e implementación de un sistema de bloqueo que impida la apertura de la cámara de gases mientras el proyecto se encuentra en operación. Esto permitirá garantizar la integridad del sistema y la precisión en la lectura de los datos de concentración obtenidos durante el proceso de monitoreo.
- Se recomienda agregar una batería portátil con la finalidad que se pueda utilizar el analizador de gases en cualquier lugar, adaptándose a las necesidades del cliente sin depender de tomas eléctricas fijas. Esta variante facilitará el análisis en entornos remotos o difíciles de acceder, ampliando las posibilidades de aplicación. Además, incrementa la comodidad del usuario y la competitividad del dispositivo.

REFERENCIAS

- Agencias. (2023, 30 octubre). Estos son los 7 alimentos que más gases provocan. La Vanguardia.
<https://www.lavanguardia.com/comer/tendencias/20190422/461707807265/alimentos-gases-flatulencias-eructos-evitar.html>
- Bosch S. R., Director de Tesis Jesús Brezmes, (2001): Tesis Doctoral, Diseño y Realización de una nariz electrónica para la discriminación de aceites. Universitat Rovira I Virgili. España
- Durán C. M. A., Director de Tesis Jesús Brezmes, (2005): Tesis Doctoral, Diseño y optimización de los subsistema de un sistema de olfato electrónico para aplicaciones agroalimentarias e industriales. Universitat Rovira I Virgili. España.
- Embedded Software development Tools & Cross Platform IDE | QT Creator. (s. f.).
<https://www.qt.io/product/development-tools>
- ¿Qué es Qt Creator?—ArcGIS AppStudio | Documentación. (s. f.).
<https://doc.arcgis.com/es/appstudio/extend-apps/whatisqtcreator.htm>
- Gardner J. W. and Barlett P.N., (1999), Electronic Noses: Principles and Applications. Oxford University Press.
- Correa E. C., Barreiro P., Ruíz-Altisent M., Chamorro C., (2005): Nariz Electrónica ¿Herramienta para la Calidad en la Industris Agroalimentaria? 2º Congreso Nacional de Calidad Alimentaria. Sectores Agroganadero y Pesquero. Jerez de la Frontera. España.
- Moreno, R. Caballero, R. Galán, F. Matía, y A. Jiménez, «La Nariz Electrónica: Estado del Arte», Rev. Iberoam. Automática E Informática Ind. RIAI, vol. 6, n.o 3, pp. 76-91, 2009, doi: 10.1016/S1697-7912(09)70267-5.
- J. Yan et al., «Electronic Nose Feature Extraction Methods: A Review», Sensors, vol. 15, n.o 11, pp. 27804-27831, nov. 2015, doi: 10.3390/s151127804.
- Liuping Wang. PID control system design and auto-matic tuning using MATLAB/Simulink. John Wiley& Sons, 2020.

- Martínez, M. S. (2019, 18 octubre). Alimentos que producen gases. CuídatePlus. <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/nutricion/2019/10/15/alimentos-producen-gases-171058.html>
- Paredes-Doig, A. L., Del Rosario Sun Kou, M., Picasso-Escoba, G., Doig-Camino, E., & Comina, G. (2016). Implementación y evaluación de una nariz electrónica para la detección de alcoholes lineales. <https://www.redalyc.org/journal/3090/309048472002/html/>
- Pinheiro C., Rodríguez C. M., Schäfer and Crespo G. J., (2002). Monitoring the Aroma Production during Wine-Must Fermentation with an Electronic Nose. *Biotechnology and Bioengineering*. Volume 77, 632-640.
- Rambal, «Sensores de gas serie MQ». <https://rambal.com/gases-polucion/1254-kit-sensores-de-gas-serie-mq.html>
- Rodríguez –Gil G. (2004). El Poderoso Sentido del Olfato. En *Resources*, Volumen 11, N.2.
- Sensores de gas serie MQ – Prometec. (s. f.). <https://www.prometec.net/sensores-de-gas-serie-mq/>
- Skoog D. A., West D. M., Holler F. J., Crouch S. R., (2005). *Fundamentos de Química Analítica*. Octava Edición. Thomson.
- Stetter J. R. and Penrose W. R. “The Electrochemical Nose” (en línea), (2001). *Electrochemistry Encyclopedia*. Departamento of Biological, Chemical and Physical Sciences Illinois Institute of Technology Chicago. <http://electrochem.cwru.edu/ed/encycl/art-n01-nose.htm>.

APÉNDICE A

CURVAS DE SENSIBILIDAD DE SENSORES DE GAS

Figura 01

Curva característica de sensibilidad sensor MQ2

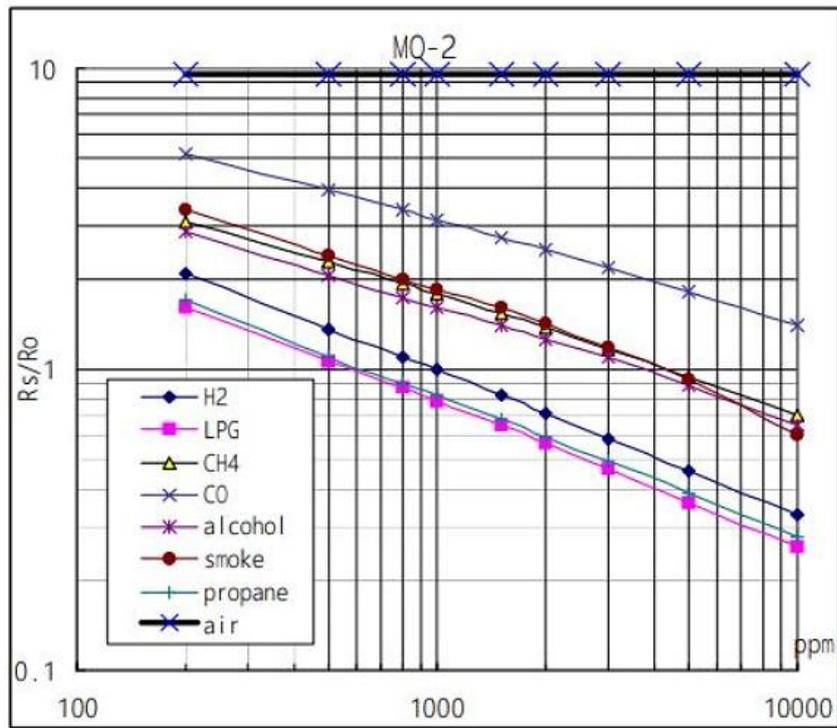


Figura 02

Curva característica de sensibilidad sensor MQ3

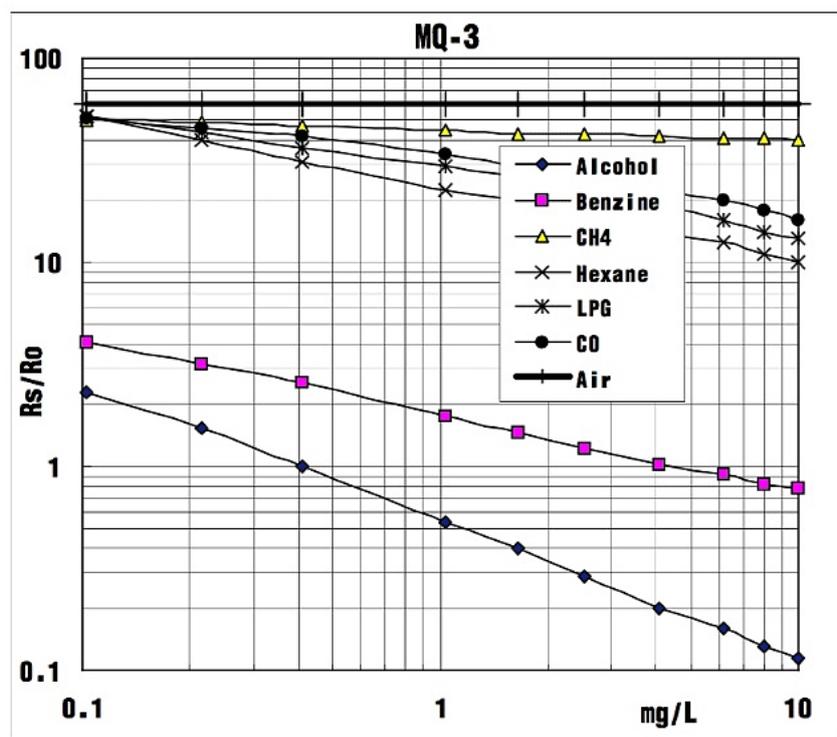


Figura 03

Curva característica de sensibilidad sensor MQ4

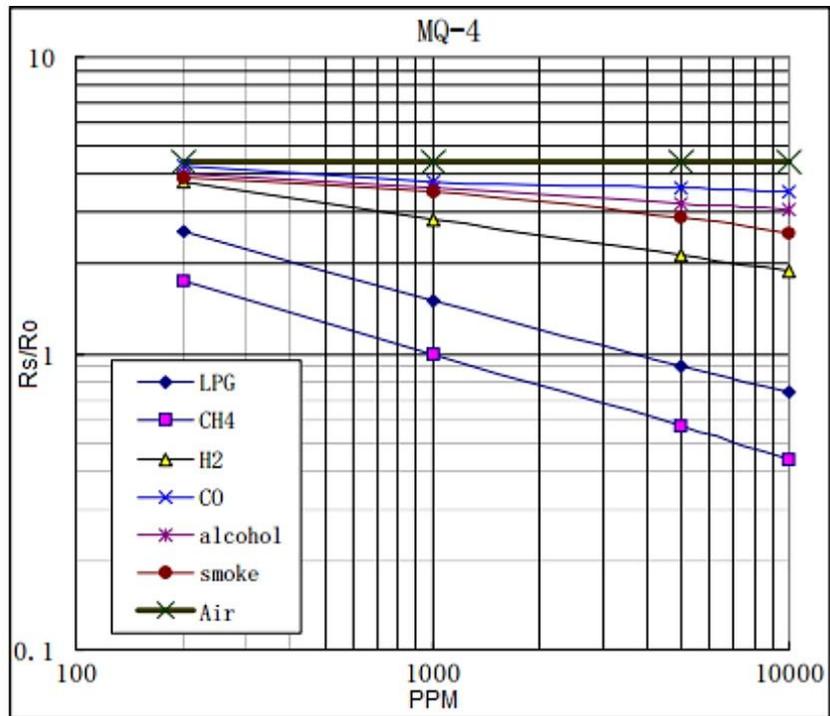


Figura 04

Curva característica de sensibilidad sensor MQ6

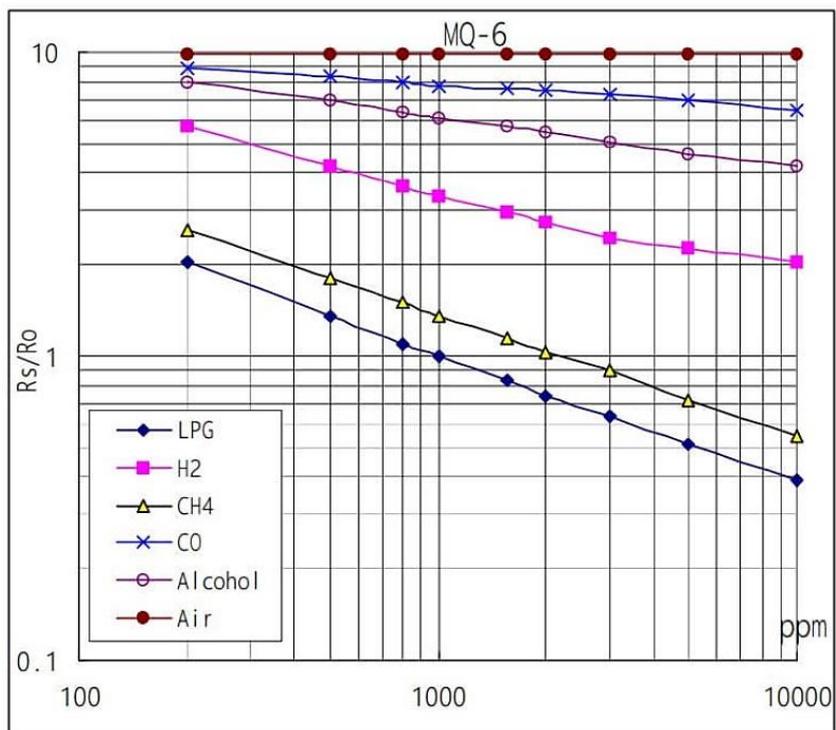


Figura 05

Curva característica de sensibilidad sensor MQ7

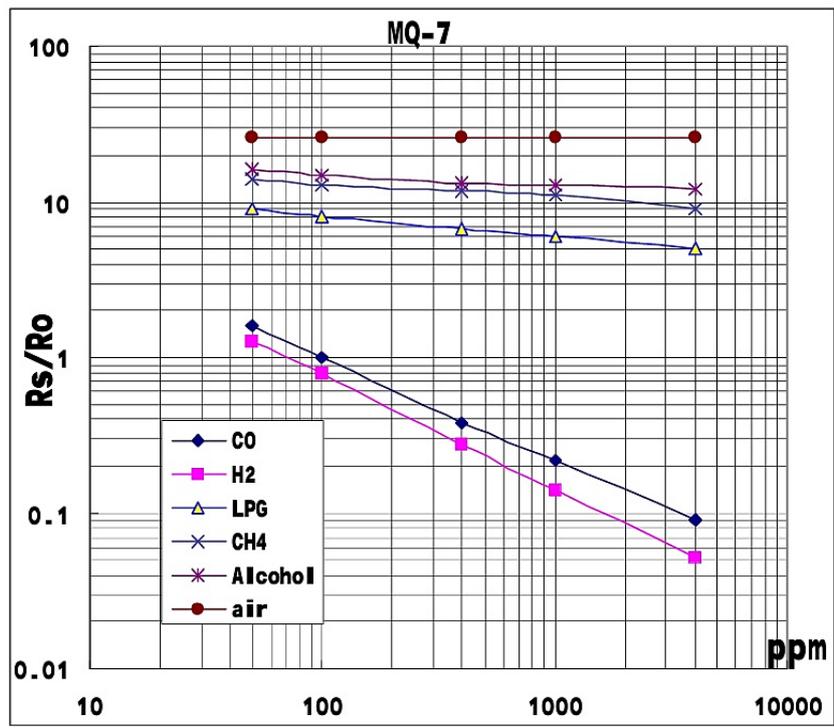


Figura 06

Curva característica de sensibilidad sensor MQ8

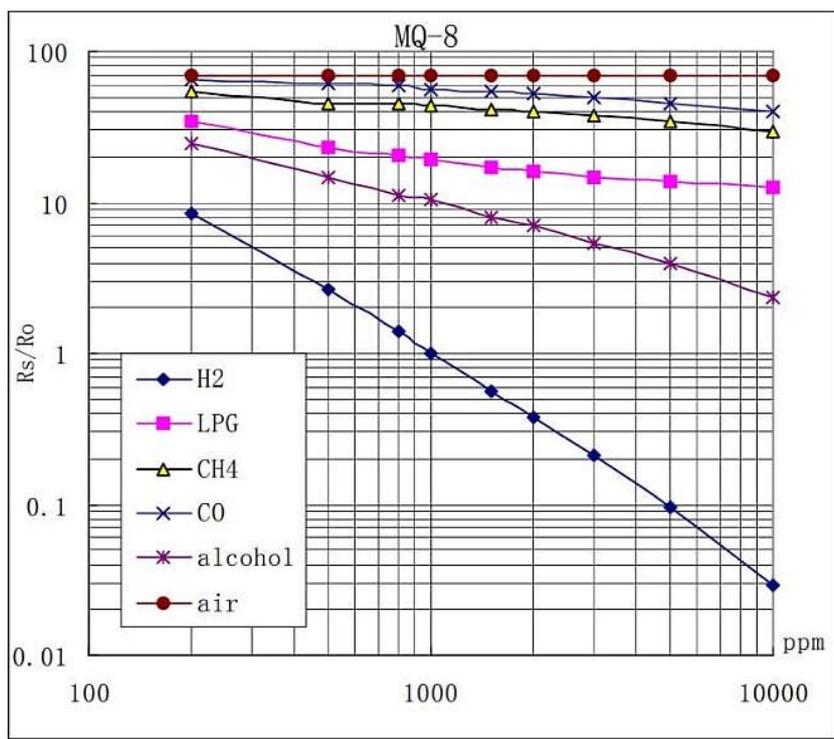


Figura 07

Curva característica de sensibilidad sensor MQ136

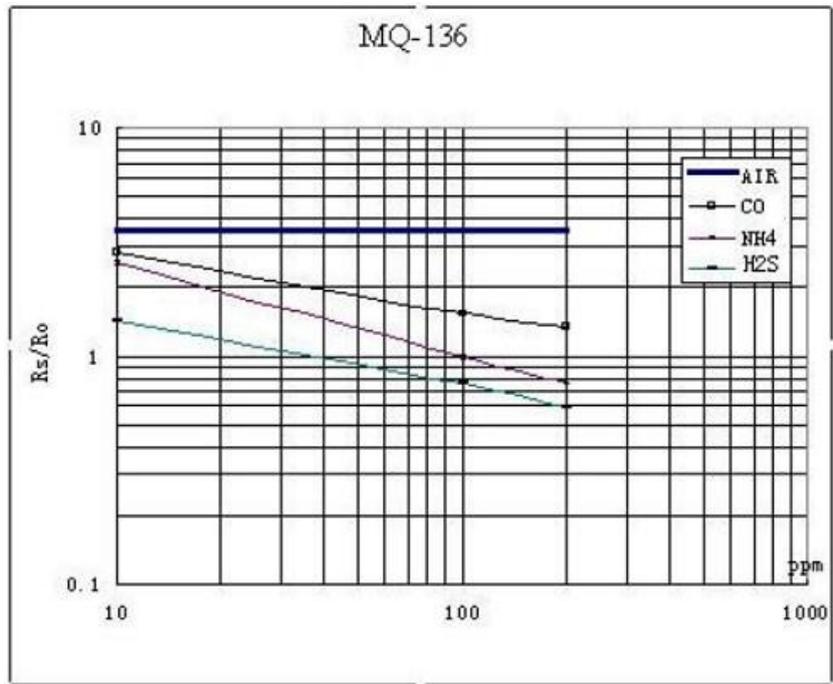


Figura 08

Curva característica de sensibilidad sensor MQ137

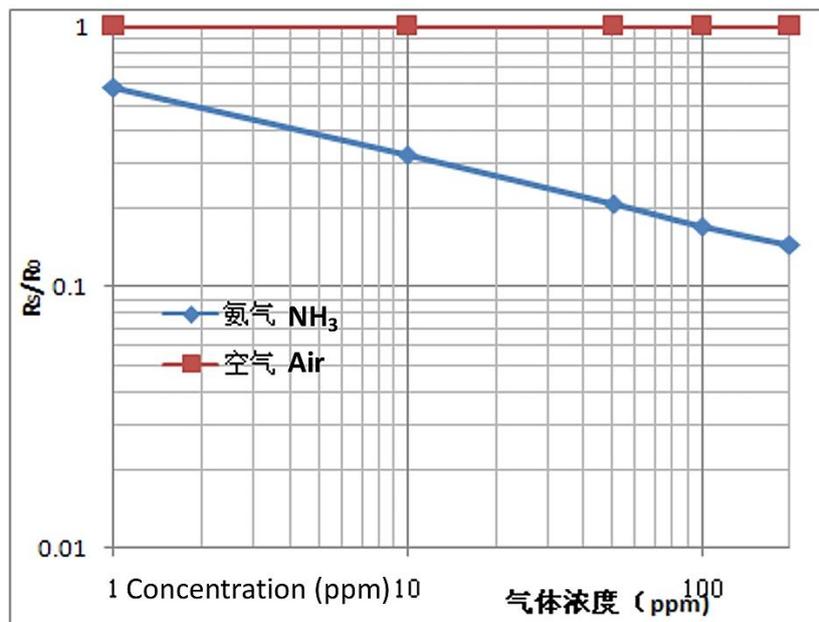
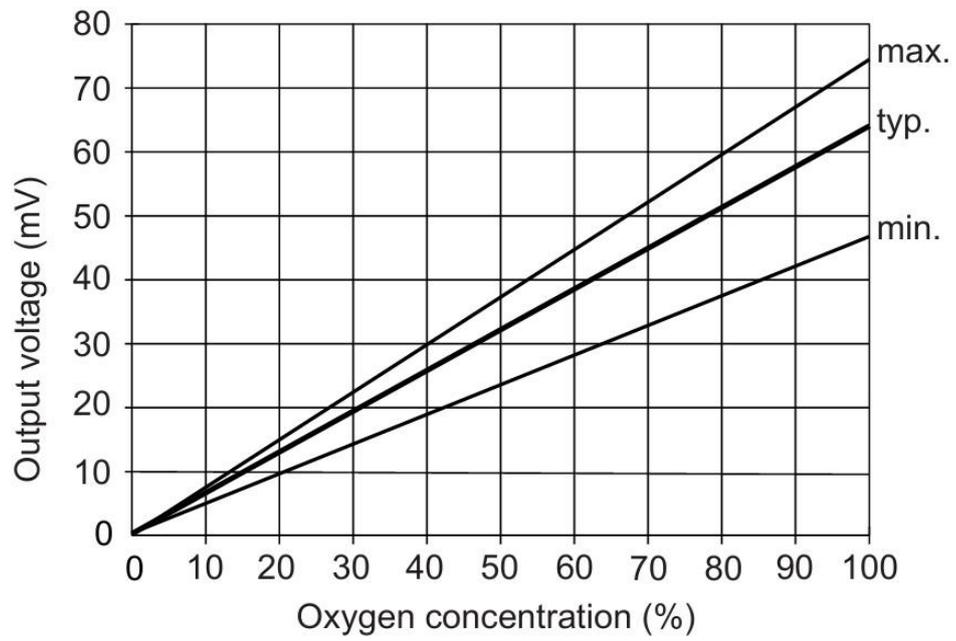


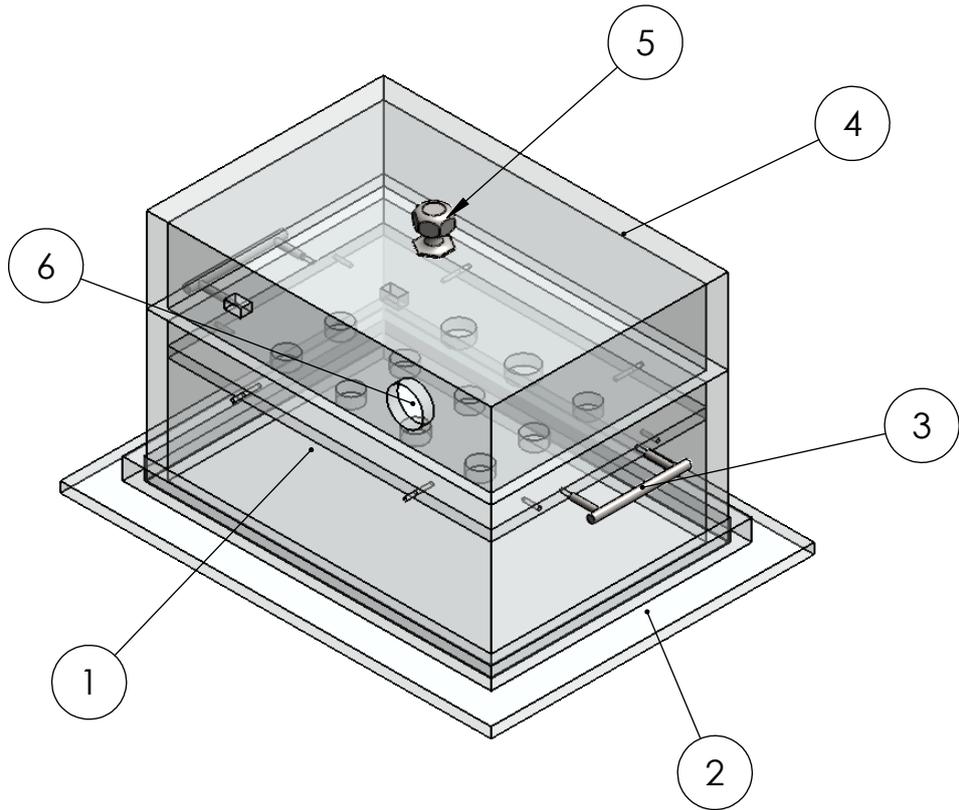
Figura 09

Curva característica de sensibilidad sensor KE25



APÉNDICE B

PLANOS DE DISEÑO MECÁNICO



ITEM	DESCRIPCION
1	CAMARA DE GASES
2	BASE
3	MANGO LATERAL
4	CARCASA DE CIRCUITOS
5	AGARRADERA DE TAPA
6	BASE DE SENSORES

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL: LIZO
 TOLERANCIAS: 0.3MM
 LINEAL: 0.3MM
 ANGULAR: 0.3MM

ACABADO: ACRILICO TRANSPARENTE, 10MM

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	LUIS ALVAREZ		
DIBUJ.	CARLOS GONZALEZ		
VERIF.	ALEXANDER PRIETO		
APROB.	ALEXANDER PRIETO		
FABR.	LUIS ALVAREZ		
FABR.	CARLOS GONZALEZ		

TÍTULO:

NARIZ ELECTRONICA

MATERIAL: ACRILICO TRANSPARENTE 10MM
 ACCESORIOS ACERO INOX 304L

N.º DE DIBUJO

1

A4

PESO:

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 7

4 3 2 1

F

F

E

E

D

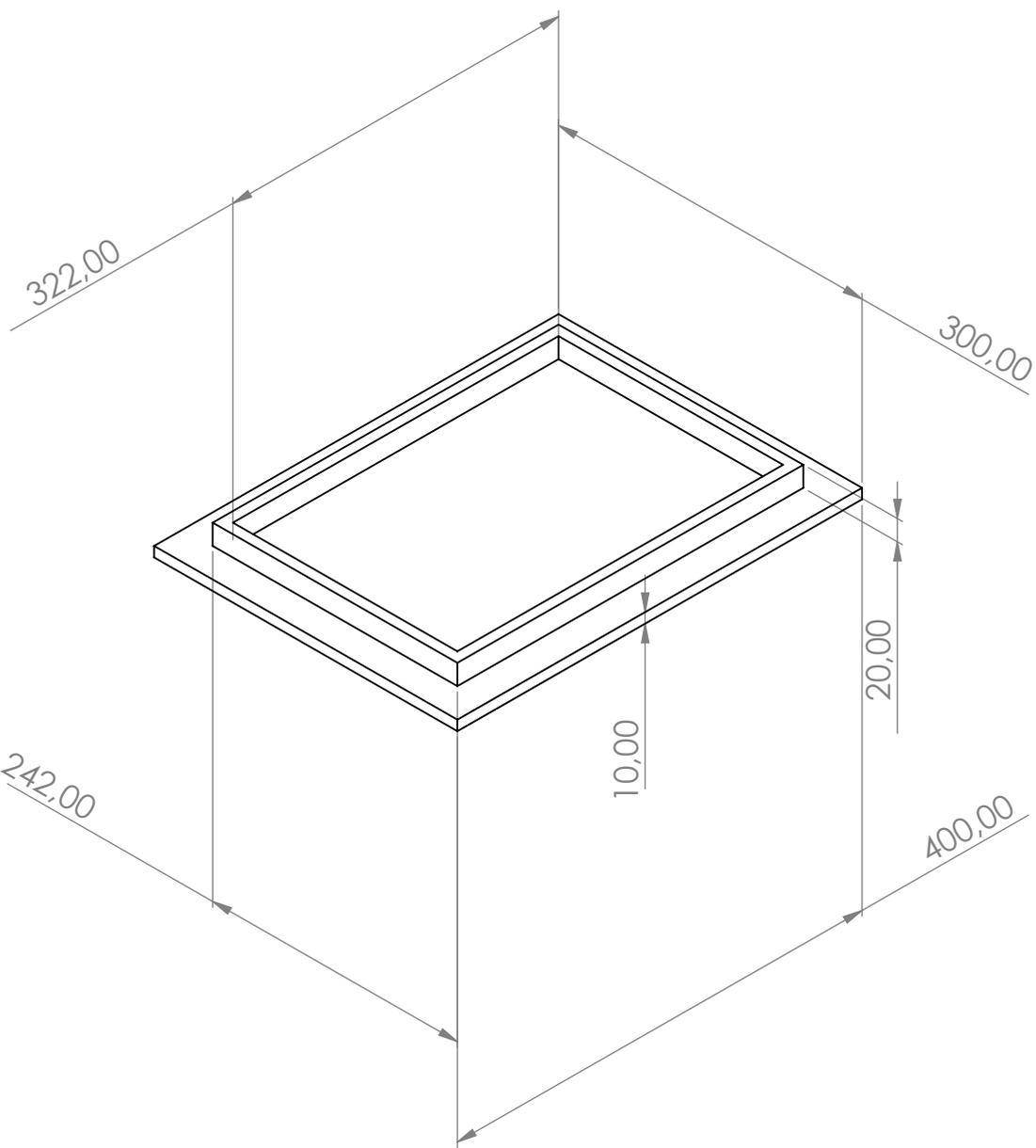
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: LIZO TOLERANCIAS: 0.3MM LINEAL: 0.3MM ANGULAR: 0.3MM	ACABADO: ACRILICO TRANSPARENTE, 10MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN

A	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: BASE	
	DIBUJ.	LUIS ALVAREZ			
	DIBUJ.	CARLOS GONZALEZ			
	VERIF.	ALEXANDER PRIETO			
	APROB.	ALEXANDER PRIETO			
	FABR.	LUIS ALVAREZ			
FABR.	CARLOS GONZALEZ		MATERIAL: ACRILICO TRANSPARENTE 10MM ACCESORIOS ACERO INOX 304L	N.º DE DIBUJO 2	A4
PESO:			ESCALA:1:5	HOJA 2 DE 7	

4 3 2 1

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

R VERDADERO 1,50

70,00

220,00

160,00

140,00

320,00

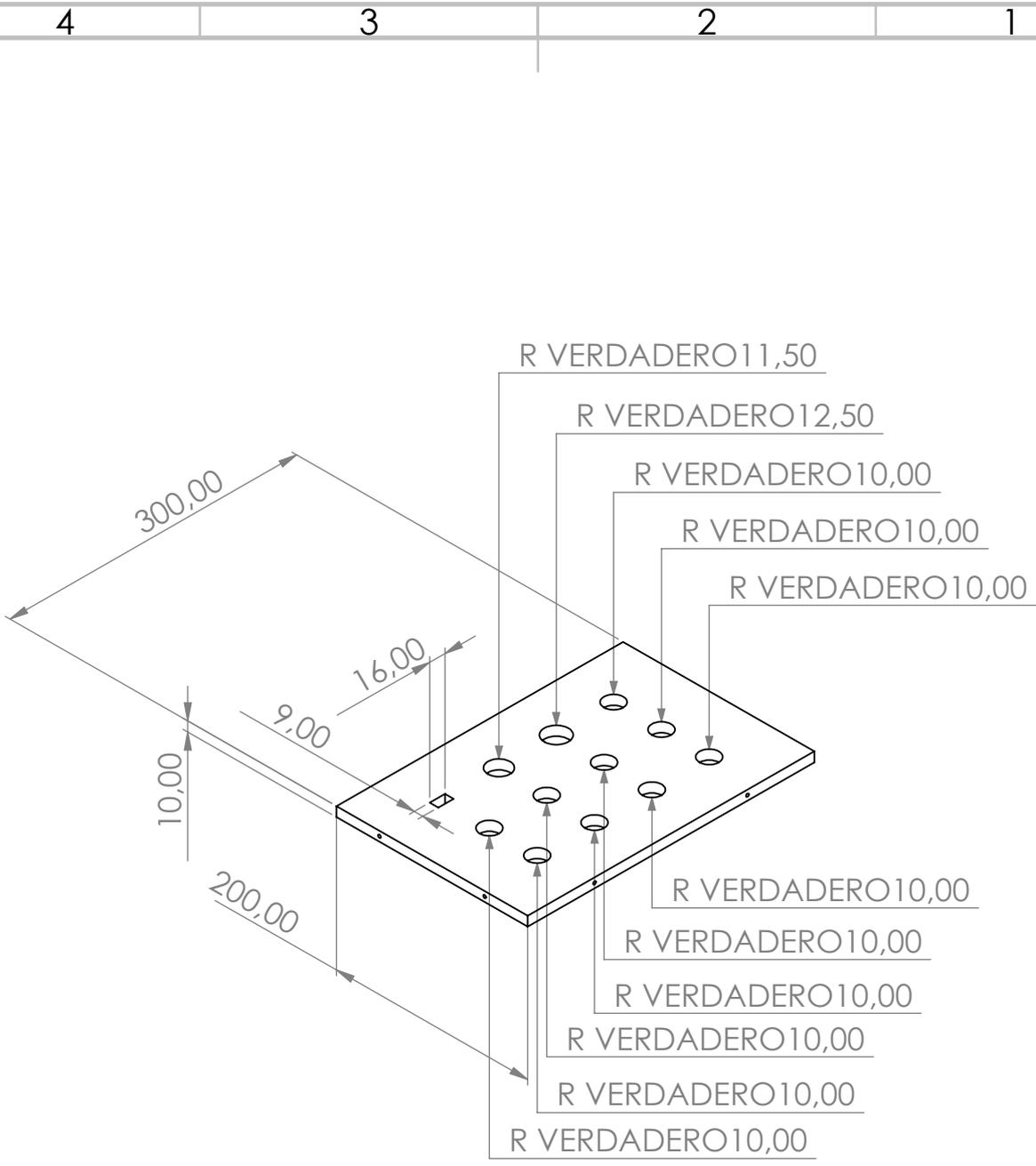
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: LIZO TOLERANCIAS: 0.3MM LINEAL: 0.3MM ANGULAR: 0.3MM	ACABADO: ACRILICO TRANSPARENTE, 10MM	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN

A	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: CAMARA DE GASES	
	DIBUJ. LUIS ALVAREZ				
	DIBUJ. CARLOS GONZALEZ				
	VERIF. ALEXANDER PRIETO				
	APROB. ALEXANDER PRIETO				
	FABR. LUIS ALVAREZ				
FABR. CARLOS GONZALEZ			MATERIAL: ACRILICO TRANSPARENTE 10MM ACCESORIOS ACERO INOX 304L	N.º DE DIBUJO 3	A4
			PESO:	ESCALA: 1:5	HOJA 3 DE 7

4 3 2 1

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: LIZO TOLERANCIAS: 0.3MM LINEAL: 0.3MM ANGULAR: 0.3MM		ACABADO: ACRILICO TRANSPARENTE, 10MM		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. LUIS ALVAREZ						BASE DE SENSORES			
DIBUJ. CARLOS GONZALEZ									
VERIF. ALEXANDER PRIETO						N.º DE DIBUJO			
APROB. ALEXANDER PRIETO									
FABR. LUIS ALVAREZ				MATERIAL: ACRILICO TRANSPARENTE 10MM		4		A4	
FABR. CARLOS GONZALEZ				ACCESORIOS ACERO INOX 304L					
				PESO:		ESCALA: 1:5		HOJA 4 DE 7	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

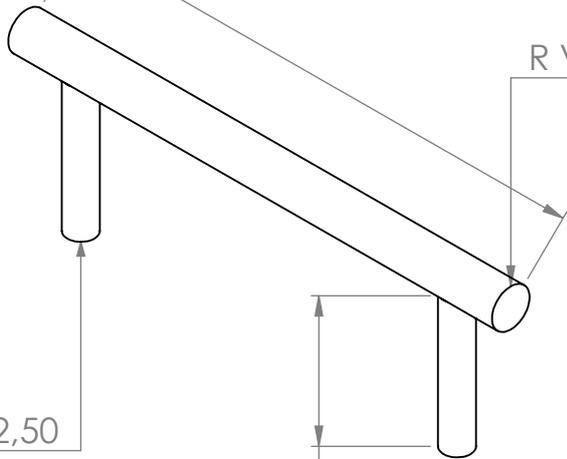
B

90,00

R VERDADERO 3,50

R VERDADERO 2,50

24,48



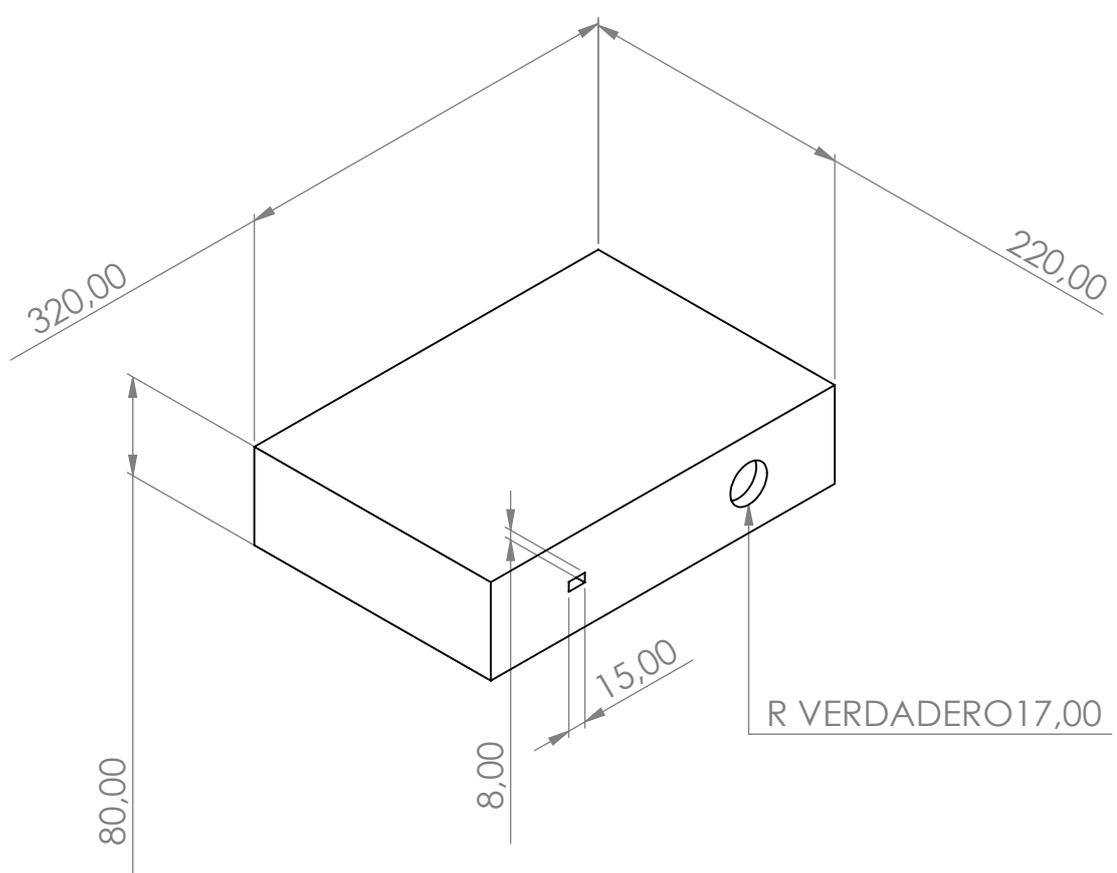
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: LIZO TOLERANCIAS: 0.3MM LINEAL: 0.3MM ANGULAR: 0.3MM	ACABADO: ACRILICO TRANSPARENTE, 10MM	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:
DIBUJ.	LUIS ALVAREZ				MANGO LATERAL
DIBUJ.	CARLOS GONZALEZ				
VERIF.	ALEXANDER PRIETO				
APROB.	ALEXANDER PRIETO				
FABR.	LUIS ALVAREZ			MATERIAL: ACRILICO TRANSPARENTE 10MM ACCESORIOS ACERO INOX 304L	N.º DE DIBUJO
FABR.	CARLOS GONZALEZ				5
				PESO:	ESCALA: 1:5
					HOJA 5 DE 7

A

A

4 3 2 1



4 3 2 1

F

E

D

C

B

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL: LIZO
 TOLERANCIAS: 0.3MM
 LINEAL: 0.3MM
 ANGULAR: 0.3MM

ACABADO: ACRILICO TRANSPARENTE, 10MM

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	LUIS ALVAREZ		
DIBUJ.	CARLOS GONZALEZ		
VERIF.	ALEXANDER PRIETO		
APROB.	ALEXANDER PRIETO		
FABR.	LUIS ALVAREZ		
FABR.	CARLOS GONZALEZ		

TÍTULO:	CARCASA DE CIRCUITOS	
N.º DE DIBUJO	6	A4
PESO:		
ESCALA: 1:5		HOJA 6 DE 7

A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

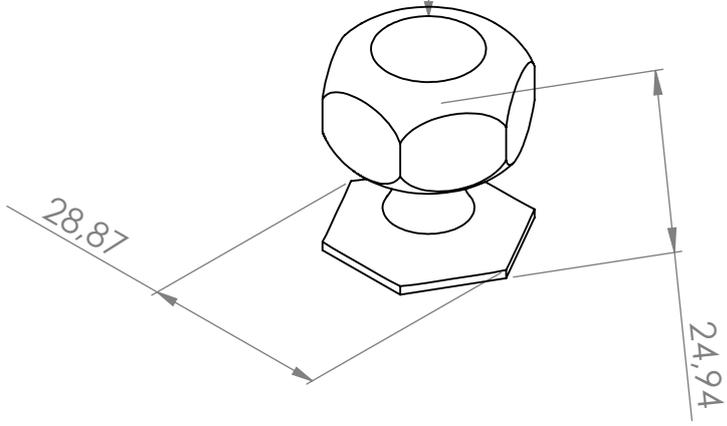
C

C

B

B

R VERDADERO 7,56



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL: LIZO
 TOLERANCIAS: 0.3MM
 LINEAL: 0.3MM
 ANGULAR: 0.3MM

ACABADO: ACRILICO TRANSPARENTE, 10MM

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

A

A

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	LUIS ALVAREZ			
DIBUJ.	CARLOS GONZALEZ			
VERIF.	ALEXANDER PRIETO			
APROB.	ALEXANDER PRIETO			
FABR.	LUIS ALVAREZ			
FABR.	CARLOS GONZALEZ			

TÍTULO:	AGARRADERA DE TAPA	
N.º DE DIBUJO		7
PESO:	ESCALA: 1:1	HOJA 7 DE 7

MATERIAL: ACRILICO TRANSPARENTE 10MM ACCESORIOS ACERO INOX 304L

A4

4 3 2 1

APÉNDICE C
INFORME DE CALIBRACIÓN



RESUMEN DE SERVICIO REALIZADO No
Summary of service performed No
OTG-C-0218-25

Introducción

Introduction

El cliente LUIS VICENTE ALVAREZ BOLAÑOS, solicitó realizar el servicio de calibración de equipos, para lo que en representación de Elicrom, Diana Mabel Mosquera Nieto, con fecha 07 de enero de 2025 presentó una propuesta técnica económica número C-ND-0001-25, la cual fue aprobada por LUIS VICENTE ALVAREZ BOLAÑOS generando la orden de trabajo de Elicrom número OTG-C-0218-25.

La ejecución de esta orden de trabajo fue coordinada por Mariela Rivera, coordinadora técnica del área de calibraciones de Elicrom, quien designó el equipo técnico responsable para la ejecución de esta orden, quedando conformado por:

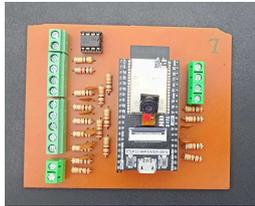
[Dario Carpio - Metrólogo](#)

Las operaciones fueron llevadas a cabo el 15 de enero del 2025, con el respectivo apoyo y coordinación de Luis Alvarez.

Equipos Intervenido

Intervened Equipment

Fueron intervenidos los equipos que constan en esta tabla.

Nombre Name	Datos Adicionales Additional data	Servicio Actual Current Service	Servicios Históricos Historical Service	Documentación Relevante Relevant Documentation
ANALIZADOR DE GASES 	Marca: No Especifica Modelo: No Especifica Serie: No Especifica Código: E-46178 Ubicación: NO ESPECÍFICA	CALIBRACION Certificado: CGC-0218-001-25  Procedimiento: PEC.EL.49 Realizado: D. Carpio Trazabilidad: Ver Etiquetado: Foto	No hay registro de intervenciones anteriores. Si este equipo se envía a calibrar nuevamente, los registros históricos se consultarán aquí. 	

Equipamiento Utilizado

Equipment used

Durante la ejecución de las mediciones, se utilizaron equipos o patrones de referencia, los cuales tienen certificado de calibración vigente a la hora de su utilización:

Identificación ID Number	Nombre Name	Marca Manufacturer	Modelo Model	No. de Serie Serial Number	Vence Cal. Due Date	Nº Certificado Nº Certificate
EL.ET.051	FLUJÓMETRO	OMEGA	FR4A1BVBN-OM	FL2040-2	2025-04-17	CGC-1939-023-24
EL.PT.365	TERMOHIGRÓMETRO	CENTER	342	190601459	2025-03-23	CGC-1299-002-24

Material de Referencia Utilizado

Reference material used



RESUMEN DE SERVICIO REALIZADO No
Summary of service performed No

OTG-C-0218-25

Durante la ejecución de las mediciones, se utilizaron materiales de referencia certificados, los cuales tienen certificado de calibración vigente a la hora de su utilización:

Identificación <i>ID Number</i>	Nombre <i>Name</i>	Marca <i>Manufacturer</i>	Modelo <i>Model</i>	No. de Lote <i>Lot Number</i>	Vence Cal. <i>Due Date</i>	Nº Certificado <i>Nº Certificate</i>
EL.MR.301	GAS PATRÓN	RIGAS	CO2 DIOXIDO DE CARBONO / NITROGENO	N/E	2025-03-26	2403PR00242
EL.MRC.320	CILINDRO	AIRGAS	CO - CO2 - C3H8 - N2		2031-01-09	ND5792 - E04NI82E3HAC000
EL.MRC.426	GAS PATRON AMONIACO/NITROGENO 50.00 PPM	AIRGAS	NH3,BALN	54-402620887-1	2025-01-18	54-402620887-1
EL.MRC.428	GAS PATRON SULFURO DE HIDRÓGENO, MONÓXIDO DE CARBONO, METANO, OXIGENO, NITROGENO	AIRGAS	CH4, CO, H2S,O2 BALN2	122-402621534-1	2026-01-23	3082.01

Procedimientos Utilizados y Documentos de Referencia

Procedures Used and Reference Documents

Para la ejecución de cada una de las intervenciones se utilizaron procedimientos internos validados, elaborados a partir de documentos de referencia nacionales y/o internacionales de los más reconocidos Institutos y Organismos de Metrología. El presente documento electrónico contiene vínculos y códigos QR que permiten visualizar tanto los procedimientos internos como los documentos de referencia, no obstante, algunos documentos no pueden ser mostrados en su totalidad por derecho de autor y licencia de uso; por lo que en aquellos se muestra solamente un extracto del documento completo, el cual igualmente contiene la información más relevante que se requiere para los fines de calidad planteados en el conjunto de normas de control y gestión de calidad.

Procedimiento <i>Procedure</i>	Nombre <i>Name</i>	Documentos de Referencia <i>Reference documents</i>
PEC.EL.49 	PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN - ANALIZADORES DE GASES	UNE-EN ISO 7504:2016. ANÁLISIS DE GAS. VOCABULARIO. 

Para Auditorias - Acreditaciones, reconocimientos y autorizaciones

For Audits - Accreditations, recognitions and authorizations

Siendo un objetivo nuestro que Usted tenga **CERO PROBLEMAS EN SUS AUDITORIAS**, incluimos en este resumen documentación adicional que excepcionalmente suelen solicitar los auditores.

[CERTIFICADO ACREDITACIÓN SAE](#)



[ALCANCE ACREDITACIÓN SAE](#)



[CERTIFICADO ACREDITACIÓN A2LA](#)





RESUMEN DE SERVICIO REALIZADO No
Summary of service performed No
OTG-C-0218-25

[ALCANCE DE ACREDITACIÓN A2LA](#)



[RECONOCIMIENTO DE ACREDITACIÓN DE A2LA POR EL SAE](#)



[AUTORIZACIÓN POR EL ARCH PARA EL SECTOR HIDROCARBURÍFRO](#)



[RECONOCIMIENTO RED METROLÓGICA](#)



Observaciones

Observations

Se ha realizado el servicio en las fechas acordadas sin registrar novedades relevantes. Espero que el servicio haya estado acorde a sus expectativas y agradezco una vez mas la confianza en ELICROM.

Esperando poder servirles nuevamente quedamos atentos a sus requerimientos.

Resumen de Servicio elaborado por:



Diana Mabel Mosquera Nieto
Tel: (593-4) 2282007 Ext: 149 Cel: 0988636339 (Llamada y WhatsApp)
Email: dmosquera@elicrom.com

Autorizado y firmado electrónicamente por:



Gerente Técnico

Autorizado y firmado electrónicamente por SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ

Nombre de reconocimiento (DN): cn=SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ, serialNumber=090623155159, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC

Fecha: 2025-01-17 16:29:21

APÉNDICE D

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CGC-0218-001-25

Cliente: LUIS VICENTE ALVAREZ
Customer
Dirección: CALLE 15 DE ABRIL 710 Y LUIS
Address BOLAÑOS
Teléfono: 0968679719
Phone Number

Persona de Contacto: Luis Alvarez
Contact Person

Objeto: ANALIZADOR DE GASES
Item



Escanee este QR y encuentre:
Etiqueta electrónica
Certificados originales en pdf
Histórico de Intervenciones
Documentos relevantes, manuales, fotografías

Marca⁽¹⁾: NO ESPECIFICA
Manufacturer

Modelo⁽¹⁾: NO ESPECIFICA
Model

No. de Serie⁽¹⁾: NO ESPECIFICA
Serial Number

Identificación: E-46178
Identification

Ubicación del Objeto⁽¹⁾: NO ESPECÍFICA
Item Location

Fecha de Recepción: 2025-01-15
Date of Receipt

Fecha de Calibración: 2025-01-15
Calibration Date

Próxima Fecha de Calibración: -
Due Date

Técnico Responsable: Dario Carpio
Responsible Technician

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los estándares nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el cliente y/o usuario es responsable de definir el período de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva o exactitud de medición.

This calibration certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI)

In order to ensure measurements, the customer and/or user is responsible for defining the calibration period according to the manufacturer's recommendation, use, drift analysis or measurement accuracy.

Persona que Autoriza / Fecha de Emisión: Ing. Savino Pineda / 2025-01-16
Person authorizing / Date of Issue



Gerente Técnico

Autorizado y firmado electrónicamente por SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ
Nombre de reconocimiento (DN): cn=SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ, serialNumber=090623155159, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025-01-16 16:59:16



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CGC-0218-001-25

Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom - Calibración. Los resultados contenidos en este certificado son válidos únicamente para el ítem aquí descrito, en el momento y bajo las condiciones en que se realizó la calibración.

La versión en inglés del certificado de calibración no es una traducción vinculante. Si algún asunto da lugar a controversia, se debe utilizar el texto original en español.

This certificate may not be reproduced other than in full except with the written approval of the Elicrom - Calibration laboratory. The results contained in this certificate relate only to the item calibrated, at the time and under the conditions in which the calibration was performed.

The English version of the calibration certificate is not a binding translation. If any matter gives rise to controversy, the Spanish original text must be used.

Incertidumbre de medida

Measurement Uncertainty

La incertidumbre expandida de medición reportada (intervalo de confianza), se evaluó con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k, que para una distribución t (de Student) corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95,45%.

The reported expanded uncertainty of the measurement (confidence interval), was evaluated based on the document JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", and is stated as the combined standard uncertainty of the measurement multiplied by the coverage factor k, which for a t (Student's) distribution corresponds to a confidence level of approximately 95.45%

Materiales de Referencia Utilizados

Reference Materials Used

Identificación <i>ID Number</i>	Nombre <i>Name</i>	Marca <i>Manufacturer</i>	N° Catálogo <i>Catalog Number</i>	No. de Lote <i>Lot Number</i>	Vence Cal. <i>Due Date</i>	N° Certificado <i>N° Certificate</i>
EL.MR.301	GAS PATRÓN	RIGAS	CO2 DIOXIDO DE CARBONO / NITROGENO	N/E	2025-03-26	2403PR00242
EL.MRC.428	GAS PATRON SULFURO DE HIDRÓGENO, MONÓXIDO DE CARBONO, METANO, OXIGENO, NITROGENO	AIRGAS	CH4, CO, H2S, O2 BALN2	122-402621534-1	2026-01-23	3082.01
EL.MRC.320	CILINDRO	AIRGAS	CO - CO2 - C3H8 - N2		2031-01-09	ND5792 - E04NI82E3HAC000
EL.MRC.426	GAS PATRON AMONIACO/NITROGENO 50.00 PPM	AIRGAS	NH3,BALN	54-402620887-1	2025-01-18	54-402620887-1

Equipamiento Utilizado

Equipment Used

Identificación <i>ID Number</i>	Nombre <i>Name</i>	Marca <i>Manufacturer</i>	Modelo <i>Model</i>	No. de Serie <i>Serial Number</i>	Vence Cal. <i>Due Date</i>	N° Certificado <i>N° Certificate</i>
EL.ET.051	FLUJÓMETRO	OMEGA	FR4A1BVBN-OM	FL2040-2	2025-04-17	CGC-1939-023-24
EL.PT.365	TERMOHIGRÓMETRO	CENTER	342	190601459	2025-03-23	CGC-1299-002-24



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CGC-0218-001-25**Calibración**

Calibration

Componente:	(H ₂ S; CO; CH ₄ ; O ₂ ; NH ₃ ; C ₃ H ₄ ; CO ₂)	
Component		
Unidad de Medida:	(ppm; %O ₂)	
Unit of Measurement		
Resolución:	0,01 ppm; 0,01 %O ₂	
Resolution		
Intervalo de Medición ⁽²⁾ :	NO ESPECIFICA	
Measurement Range		
Lugar de Calibración:	Lab. Electroquímica (Elicrom)	
Calibration Site		
Método de Calibración:	Comparación Directa Con Materiales De Referencia Certificados	
Calibration Method		
Documento de Referencia:	ISO 7504:2015	
Reference Document		
Procedimiento de Calibración:	PEC.EL.49	
Calibration Procedure		
Condiciones Ambientales:	Temperatura del Aire	21,3 °C ± 0,9 °C
Environmental Conditions	Air Temperature	
	Humedad Relativa del Aire	54,5 %hr ± 3,1 %hr
	Air Relative Humidity	
	Presión Atmosférica	1008 hPa ± 1 hPa
	Atmospheric Pressure	

Observaciones

Observations

- ⁽¹⁾ Información proporcionada por el cliente. Elicrom no es responsable de dicha información.
⁽²⁾ Información tomada de las especificaciones del objeto de calibración (proporcionada por el fabricante).

⁽¹⁾ Information provided by the customer. Elicrom is not responsible for such information.
⁽²⁾ Information taken from the specifications of the calibration item (provided by the manufacturer).

LAS CALIBRACIONES MARCADAS CON (*) NO ESTÁN INCLUIDAS EN EL ALCANCE DE ACREDITACIÓN DE A2LA.

Declaración de Trazabilidad Metrológica

Statement of Metrological Traceability

Los resultados de calibración contenidos en este certificado son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones a través del NIST (National Institute of Standards and Technology - Estados Unidos) o de otros Institutos Nacionales de Metrología (INMs).

The calibration results contained in this certificate are traceable to the International System of Units (SI) through an unbroken chain of calibrations through the NIST (National Institute of Standards and Technology - United States of America) or other National Metrology Institutes (NIMs).



Escanee este QR
para descargar
informe original
con firma
electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CGC-0218-001-25

Resultados de la Calibración

Calibration Results

Componente	Unidad de Medida	Valor MRC	Indicación Ítem	Error de Medición (e)	Incertidumbre (U)	Factor de Cobertura (k)
<i>Component</i>	<i>Unit of Measurement</i>	<i>CRM Value</i>	<i>Item Reading</i>	<i>Measurement Error (e)</i>	<i>Uncertainty (U)</i>	<i>Coverage factor</i>
H ₂ S	ppm	24,80	24,53	-0,27	0,78	2,00
CO	ppm	100,40	99,93	-0,47	2,1	2,00
CH ₄ (*)	ppm	627,3	624,66	-2,59	6,9	2,00
O ₂	%O ₂	18,18	18,26	0,08	0,36	2,01
NH ₃	ppm	49,2	50,39	1,19	2,5	2,00
C ₃ H ₄ (*)	ppm	1988	2003,16	15,16	20	2,00
CO ₂ (*)	ppm	1000,00	1004,60	4,60	20	2,00

Nota

Note

- El valor del MRC y el error de medición (mejor estimación del valor verdadero) se muestran con la misma cantidad de decimales que la incertidumbre reportada (véase 7.2.6 de la GUM).

- CRM value and measurement error (best estimate of the true value) are shown with the same number of digits as the reported uncertainty (see GUM 7.2.6).

FO.PEC.49-02 Rev. 02

APÉNDICE E

PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADOR ESP32

```

1 //PROYECTO NARIZ ELECTRONICA
2 //CARLOS GONZALES - LUIS ALVAREZ
3
4 #include <SoftwareSerial.h>
5 #include <DHT.h> //Cargamos la librería DHT
6 #define INTERVALO 5 // Defino el intervalo de muestreo en minutos
7 #define DHTTYPE DHT22 //Definimos el modelo del sensor DHT22
8 #define DHTPIN 18 // Se define el pin D4 del ESP32 para conectar el sensor DHT22
9 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE, 22);
10
11 #define VCC 3.3 // Voltaje máximo del ADC (3.3V)
12 #define resolucion 4095.0 // Resolución de 12 bits
13
14 #define PIN_MQ2 2 // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ2
15 #define Ro_MQ2 6773.10 // Ro en aire limpio sensor MQ2
16 #define RL_MQ2 9290.0 // Resistencia de carga sensor MQ2
17 int adc_MQ2 = 0;
18 float VRL_MQ2 = 0;
19 float Rs_MQ2 = 0;
20 #define m_MQ2 -0.463382128
21 #define b_MQ2 1.308340076
22 float Ratio_MQ2;
23 float ppm_MQ2;
24
25 #define PIN_MQ3 4 // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ3
26 #define Ro_MQ3 990.70 // Ro en aire limpio sensor MQ3
27 #define RL_MQ3 14800.0 // Resistencia de carga sensor MQ3
28 int adc_MQ3 = 0;
29 float VRL_MQ3 = 0;
30 float Rs_MQ3 = 0;
31 #define m_MQ3 -1.099498295
32 #define b_MQ3 0.533680177
33 float Ratio_MQ3;
34 float ppm_MQ3;
35
36 #define PIN_MQ4 13 // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ4
37 #define Ro_MQ4 10928.16 // Ro en aire limpio sensor MQ4
38 #define RL_MQ4 29800.0 // Resistencia de carga sensor MQ4
39 int adc_MQ4 = 0;
40 float VRL_MQ4 = 0;
41 float Rs_MQ4 = 0;
42 #define m_MQ4 -0.355862403
43 #define b_MQ4 1.060808668
44 float Ratio_MQ4;
45 float ppm_MQ4;
46
47 #define PIN_MQ6 12 // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ6
48 #define Ro_MQ6 719102.89 // Ro en aire limpio sensor MQ6
49 #define RL_MQ6 74200.0 // Resistencia de carga sensor MQ6
50 int adc_MQ6 = 0;
51 float VRL_MQ6 = 0;
52 float Rs_MQ6 = 0;
53 #define m_MQ6 -0.419425172
54 #define b_MQ6 1.260702999
55 float Ratio_MQ6;
56 float ppm_MQ6;

```

```

57
58 #define PIN_MQ7 25 // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ7
59 #define Ro_MQ7 1375.92 // Ro en aire limpio sensor MQ7
60 #define RL_MQ7 9830.0 // Resistencia de carga sensor MQ7
61 int adc_MQ7 = 0;
62 float VRL_MQ7 = 0;
63 float Rs_MQ7 = 0;
64 #define m_MQ7 -0.655997886
65 #define b_MQ7 1.282341225
66 float Ratio_MQ7;
67 float ppm_MQ7;
68
69 #define PIN_MQ8 33 // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ8
70 #define Ro_MQ8 3354.33 // Ro en aire limpio sensor MQ8
71 #define RL_MQ8 14700.0 // Resistencia de carga sensor MQ8
72 int adc_MQ8 = 0;
73 float VRL_MQ8 = 0;
74 float Rs_MQ8 = 0;
75 #define m_MQ8 -1.45237099
76 #define b_MQ8 4.35711297
77 float Ratio_MQ8;
78 float ppm_MQ8;
79
80 #define PIN_MQ136 32 // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ136
81 #define Ro_MQ136 3623.74 // Ro en aire limpio sensor MQ136
82 #define RL_MQ136 1860 // Resistencia de carga sensor MQ136
83 int adc_MQ136 = 0;
84 float VRL_MQ136 = 0;
85 float Rs_MQ136 = 0;
86 #define m_MQ136 -0.286771794
87 #define b_MQ136 0.442964399
88 float Ratio_MQ136;
89 float ppm_MQ136;
90
91 #define PIN_MQ137 35 // Pin analógico donde está conectado el sensor MQ137
92 #define Ro_MQ137 2221.68 // Ro en aire limpio sensor MQ137
93 #define RL_MQ137 991 // Resistencia de carga sensor MQ137
94 int adc_MQ137 = 0;
95 float VRL_MQ137 = 0;
96 float Rs_MQ137 = 0;
97 #define m_MQ137 -0.259385161
98 #define b_MQ137 -0.234559138
99 float Ratio_MQ137;
100 float ppm_MQ137;
101
102 #define SENSOR_PIN_KE25 36
103
104 int muestreo = INTERVALO * 60000;
105 float intervalo = muestreo/4;
106
107 SoftwareSerial mySerial(34, 14); // RX en pin 34, TX en pin 14
108 // Comando de lectura de CO2
109 byte comandoLectura[] = {0xFF, 0x01, 0x86, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x79};
110 byte respuesta[9]; // Buffer para almacenar la respuesta del sensor
111

```

```

112 bool isRunning = false; // Bandera para indicar si el sistema está activo
113 bool isMQ2Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor MQ2
114 bool isMQ3Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor MQ3
115 bool isMQ4Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor MQ4
116 bool isMQ6Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor MQ6
117 bool isMQ7Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor MQ7
118 bool isMQ8Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor MQ8
119 bool isMQ136Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor MQ136
120 bool isMQ137Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor MQ137
121 bool isKE25Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor KE25
122 bool isCO2Enabled = false; // Bandera para controlar la salida del sensor CO2
123
124 void setup()
125 {
126     Serial.begin(115200); //Se inicia la comunicación serial
127     dht.begin();
128
129     pinMode(PIN_MQ2, INPUT);
130     analogSetPinAttenuation(PIN_MQ2, ADC_11db);
131
132     pinMode(PIN_MQ3, INPUT);
133     analogSetPinAttenuation(PIN_MQ3, ADC_11db);
134
135     pinMode(PIN_MQ4, INPUT);
136     analogSetPinAttenuation(PIN_MQ4, ADC_11db);
137
138     pinMode(PIN_MQ6, INPUT);
139     analogSetPinAttenuation(PIN_MQ6, ADC_11db);
140
141     pinMode(PIN_MQ7, INPUT);
142     analogSetPinAttenuation(PIN_MQ7, ADC_11db);
143
144     pinMode(PIN_MQ8, INPUT);
145     analogSetPinAttenuation(PIN_MQ8, ADC_11db);
146
147     pinMode(PIN_MQ136, INPUT);
148     analogSetPinAttenuation(PIN_MQ136, ADC_11db);
149
150     pinMode(PIN_MQ137, INPUT);
151     analogSetPinAttenuation(PIN_MQ137, ADC_11db);
152
153     pinMode(SENSOR_PIN_KE25, INPUT);
154     analogSetPinAttenuation(SENSOR_PIN_KE25, ADC_11db);
155
156     mySerial.begin(9600);
157 }
158
159 void loop() {
160     // Verifica si hay datos disponibles en el puerto serial
161     if (Serial.available() > 0) {
162         String command = Serial.readStringUntil('\n'); // Leer comando
163         command.trim(); // Elimina espacios en blanco o saltos de línea
164

```

```

165     if (command == "START") {
166         |   isRunning = true; // Activar el sistema
167         |   Serial.println("Sistema activado");
168     } else if (command == "STOP") {
169         |   isRunning = false; // Desactivar el sistema
170         |   Serial.println("Sistema desactivado");
171     } else if (command == "MQ2_ON") {
172         |   isMQ2Enabled = true; // Activar salida del sensor MQ2
173     } else if (command == "MQ2_OFF") {
174         |   isMQ2Enabled = false; // Desactivar salida del sensor MQ2
175     } else if (command == "MQ3_ON") {
176         |   isMQ3Enabled = true; // Activar salida del sensor MQ3
177     } else if (command == "MQ3_OFF") {
178         |   isMQ3Enabled = false; // Desactivar salida del sensor MQ3
179     } else if (command == "MQ4_ON") {
180         |   isMQ4Enabled = true; // Activar salida del sensor MQ4
181     } else if (command == "MQ4_OFF") {
182         |   isMQ4Enabled = false; // Desactivar salida del sensor MQ4
183     } else if (command == "MQ6_ON") {
184         |   isMQ6Enabled = true; // Activar salida del sensor MQ6
185     } else if (command == "MQ6_OFF") {
186         |   isMQ6Enabled = false; // Desactivar salida del sensor MQ6
187     } else if (command == "MQ7_ON") {
188         |   isMQ7Enabled = true; // Activar salida del sensor MQ7
189     } else if (command == "MQ7_OFF") {
190         |   isMQ7Enabled = false; // Desactivar salida del sensor MQ7
191     } else if (command == "MQ8_ON") {
192         |   isMQ8Enabled = true; // Activar salida del sensor MQ8
193     } else if (command == "MQ8_OFF") {
194         |   isMQ8Enabled = false; // Desactivar salida del sensor MQ8
195     } else if (command == "MQ136_ON") {
196         |   isMQ136Enabled = true; // Activar salida del sensor MQ2
197     } else if (command == "MQ136_OFF") {
198         |   isMQ136Enabled = false; // Desactivar salida del sensor MQ136
199     } else if (command == "MQ137_ON") {
200         |   isMQ137Enabled = true; // Activar salida del sensor MQ137
201     } else if (command == "MQ137_OFF") {
202         |   isMQ137Enabled = false; // Desactivar salida del sensor MQ137
203     } else if (command == "KE25_ON") {
204         |   isKE25Enabled = true; // Activar salida del sensor KE25
205     } else if (command == "KE25_OFF") {
206         |   isKE25Enabled = false; // Desactivar salida del sensor KE25
207     } else if (command == "CO2_ON") {
208         |   isCO2Enabled = true; // Activar salida del sensor CO2
209     } else if (command == "CO2_OFF") {
210         |   isCO2Enabled = false; // Desactivar salida del sensor CO2
211     }
212 }
213
214 if (isRunning) {
215

```

```

216 String datos = ""; // Cadena para almacenar todos los datos
217 float h = dht.readHumidity(); //Se lee la humedad y se asigna el valor a "h"
218 float t = dht.readTemperature(); //Se lee la temperatura y se asigna el valor a "t"
219
220 datos += String(h, 2) + " %\n";
221 datos += String(t, 2) + " °C\n";
222
223 if (isMQ2Enabled) {
224   adc_MQ2 = analogRead(PIN_MQ2);
225
226   // Convertir la lectura del ADC a voltaje
227   VRL_MQ2 = adc_MQ2 * (VCC/resolucion);
228   Rs_MQ2=((VCC/VRL_MQ2)-1)*RL_MQ2;
229
230   Ratio_MQ2 = (Rs_MQ2/Ro_MQ2);
231   ppm_MQ2 = pow(10,((log10(Ratio_MQ2)-b_MQ2)/m_MQ2));
232
233   datos += String(ppm_MQ2, 2) + " ppm\n";
234 } else {
235   | datos += "0 ppm\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
236 }
237
238 if (isMQ3Enabled) {
239   adc_MQ3 = analogRead(PIN_MQ3);
240
241   // Convertir la lectura del ADC a voltaje
242   VRL_MQ3 = adc_MQ3 * (VCC/resolucion);
243   Rs_MQ3=((VCC/VRL_MQ3)-1)*RL_MQ3;
244
245   Ratio_MQ3 = (Rs_MQ3/Ro_MQ3);
246   ppm_MQ3 = pow(10,((log10(Ratio_MQ3)-b_MQ3)/m_MQ3));
247
248   datos += String(ppm_MQ3, 2) + " mg/L\n";
249 } else {
250   | datos += "0 ppm\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
251 }
252
253 if (isMQ4Enabled) {
254   adc_MQ4 = analogRead(PIN_MQ4);
255
256   // Convertir la lectura del ADC a voltaje
257   VRL_MQ4 = adc_MQ4 * (VCC/resolucion);
258   Rs_MQ4=((VCC/VRL_MQ4)-1)*RL_MQ4;
259
260   Ratio_MQ4 = (Rs_MQ4/Ro_MQ4);
261   ppm_MQ4 = pow(10,((log10(Ratio_MQ4)-b_MQ4)/m_MQ4));
262
263   datos += String(ppm_MQ4, 2) + " ppm\n";
264 } else {
265   | datos += "0 ppm\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
266 }
267
268 if (isMQ6Enabled) {
269   adc_MQ6 = analogRead(PIN_MQ6);
270

```

```

271 // Convertir la lectura del ADC a voltaje
272 VRL_MQ6 = adc_MQ6 * (VCC/resolucion);
273 Rs_MQ6=((VCC/VRL_MQ6)-1)*RL_MQ6;
274
275 Ratio_MQ6 = (Rs_MQ6/Ro_MQ6);
276 ppm_MQ6 = pow(10,((log10(Ratio_MQ6)-b_MQ6)/m_MQ6));
277
278 datos += String(ppm_MQ6, 2) + " ppm\n";
279 } else {
280 | datos += "0 ppm\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
281 }
282
283 if (isMQ7Enabled) {
284 adc_MQ7 = analogRead(PIN_MQ7);
285
286 // Convertir la lectura del ADC a voltaje
287 VRL_MQ7 = adc_MQ7 * (VCC/resolucion);
288 Rs_MQ7=((VCC/VRL_MQ7)-1)*RL_MQ7;
289
290 Ratio_MQ7 = (Rs_MQ7/Ro_MQ7);
291 ppm_MQ7 = pow(10,((log10(Ratio_MQ7)-b_MQ7)/m_MQ7));
292
293 datos += String(ppm_MQ7, 2) + " ppm\n";
294 } else {
295 | datos += "0 ppm\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
296 }
297
298 if (isMQ8Enabled) {
299 adc_MQ8 = analogRead(PIN_MQ8);
300
301 // Convertir la lectura del ADC a voltaje
302 VRL_MQ8 = adc_MQ8 * (VCC/resolucion);
303 Rs_MQ8=((VCC/VRL_MQ8)-1)*RL_MQ8;
304
305 Ratio_MQ8 = (Rs_MQ8/Ro_MQ8);
306 ppm_MQ8 = pow(10,((log10(Ratio_MQ8)-b_MQ8)/m_MQ8));
307
308 datos += String(ppm_MQ8, 2) + " ppm\n";
309 } else {
310 | datos += "0 ppm\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
311 }
312
313 if (isMQ136Enabled) {
314 adc_MQ136 = analogRead(PIN_MQ136);
315
316 // Convertir la lectura del ADC a voltaje
317 VRL_MQ136 = adc_MQ136 * (VCC/resolucion);
318 Rs_MQ136=((VCC/VRL_MQ136)-1)*RL_MQ136;
319
320 Ratio_MQ136 = (Rs_MQ136/Ro_MQ136);
321 ppm_MQ136 = pow(10,((log10(Ratio_MQ136)-b_MQ136)/m_MQ136));
322
323 datos += String(ppm_MQ136, 2) + " ppm\n";
324 } else {
325 | datos += "0 ppm\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
326 }

```

```

327
328   if (isMQ137Enabled) {
329     adc_MQ137 = analogRead(PIN_MQ137);
330
331     // Convertir la lectura del ADC a voltaje
332     VRL_MQ137 = adc_MQ137 * (VCC/resolucion);
333     Rs_MQ137=((VCC/VRL_MQ137)-1)*RL_MQ137;
334
335     Ratio_MQ137 = (Rs_MQ137/Ro_MQ137);
336     ppm_MQ137 = pow(10,((log10(Ratio_MQ137)-b_MQ137)/m_MQ137));
337
338     datos += String(ppm_MQ137, 2) + " ppm\n";
339   } else {
340     | datos += "0 ppm\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
341   }
342
343   if (isKE25Enabled) {
344     int adcValue_KE25 = analogRead(SENSOR_PIN_KE25);
345     float voltage_KE25 = adcValue_KE25 * (VCC/resolucion);
346     float oxygen_KE25 = (voltage_KE25-0.0131)/0.0187;
347
348     datos += String(oxygen_KE25, 2) + " %\n";
349   } else {
350     | datos += "0 %\n"; // Valor 0 si el sensor no está habilitado
351   }
352
353   if (isCO2Enabled) {
354     mySerial.write(comandoLectura, sizeof(comandoLectura));
355     unsigned long startTime = millis();
356     while (mySerial.available() < 9) {
357       | | | if (millis() - startTime > 100) { // 100 ms límite de espera
358         | | | | datos += "0 ppm\n"; // No hay respuesta dentro del tiempo límite
359         | | | | break;
360       | | | }
361     }
362     if (mySerial.available() >= 9) {
363       for (int i = 0; i < 9; i++) {
364         | respuesta[i] = mySerial.read();
365       }
366       if (validarChecksum(respuesta)) {
367         | int co2 = (respuesta[2] << 8) + respuesta[3]; // Calcular la concentración de CO2
368         | datos += String(co2)+ " ppm\n";
369       } else {
370         | datos += "0 ppm\n";
371       }
372     }
373   } else {
374     | datos += "0 ppm\n";
375   }
376
377   Serial.println(datos); // Enviar todos los datos en un solo mensaje
378   delay(intervalo);
379 }
380 }
381

```

```
382 bool validarChecksum(byte *data) {
383     byte checksum = 0;
384     for (int i = 1; i < 8; i++) { // Sumar bytes 1 a 7
385         checksum += data[i];
386     }
387     checksum = 0xFF - checksum + 1; // Complemento a 256
388     return (checksum == data[8]); // Comparar con el byte 8
389 }
```

APÉNDICE F

PROGRAMACIÓN DE INTERFAZ GRÁFICA

MAINWINDOW.H

```
1 #ifndef MAINWINDOW_H
2 #define MAINWINDOW_H
3
4 #include <QMainWindow>
5 #include <QSerialPort> // Necesario para la comunicación serial
6 #include <QMessageBox> // Para mostrar mensajes de error o advertencia
7 #include <QTimer>
8 #include <QSpinBox> // Para los controles de tiempo
9 #include <QDoubleSpinBox> // Para los controles con decimales
10 #include <QPushButton> // Para los botones de la UI
11 #include <QCheckBox> // Para los botones chequeables
12 #include <QTableWidget>
13
14 QT_BEGIN_NAMESPACE
15 namespace Ui {
16 class MainWindow;
17 }
18 QT_END_NAMESPACE
19
20 class MainWindow : public QMainWindow
21 {
22     Q_OBJECT
23
24 public:
25     explicit MainWindow(QWidget *parent = nullptr); // Constructor
26     ~MainWindow(); // Destructor
27
28 private slots:
29     void onStartButtonToggled(bool checked); // Slot para manejar el botón START
30     void onDoubleSpinBoxValueChanged(double value); // Para manejar cambios en el DoubleSpinBox
31     void onTimeout(); // Para manejar el timeout del temporizador
32     void onMQ2Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable MQ2
33     void onMQ3Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable MQ3
34     void onMQ4Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable MQ4
35     void onMQ6Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable MQ6
36     void onMQ7Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable MQ7
37     void onMQ8Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable MQ8
38     void onMQ136Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable MQ136
39     void onMQ137Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable MQ137
40     void onKE25Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable KE25
41     void onC02Toggled(bool checked); // Slot para manejar el botón chequeable C02
42     void readSerialData(); // Slot para leer los datos provenientes del puerto serial
43     void handleSerialError(QSerialPort::SerialPortError error); // Slot para manejar errores del puerto serial
44
45     void onShowDatabaseToggled(bool checked);
46     void exportToCSV();
47
48 private:
49     Ui::MainWindow *ui; // Puntero a la interfaz de usuario
50     QSerialPort *serial; // Objeto para manejar el puerto serial
51     QTimer *dataReceptionTimer; // Temporizador para la recepción de datos
52     QTimer *stopTimer;
53     int currentRow; // Índice de la fila actual
54     int currentColumn;
55
56     // Nuevos atributos para manejar la configuración de tiempo
57     QSpinBox *spinBoxHours; // SpinBox para las horas
58     QSpinBox *spinBoxMinutes; // SpinBox para los minutos
59     QSpinBox *spinBoxSeconds; // SpinBox para los segundos
60     QDoubleSpinBox *doubleSpinBox; // DoubleSpinBox para el valor decimal de tiempo
61     QTimer *readTimer; // Timer para manejar el intervalo de lectura
62
63     void startDataReceptionTimer(); // Método para iniciar el temporizador de recepción de datos
64 };
65
66 #endif // MAINWINDOW_H
```

MAINWINDOW.CPP

```
1 #include "mainwindow.h"
2 #include "ui_mainwindow.h"
3 #include <QDebug>
4 #include <QSerialPort>
5 #include <QSerialPortInfo>
6 #include <QMessageBox>
7 #include <QCheckBox>
8 #include <QTableWidgetItem>
9 #include <QFileDialog>
10
11
12 MainWindow::MainWindow(QWidget *parent)
13     : QMainWindow(parent)
14     , ui(new Ui::MainWindow)
15     , serial(new QSerialPort(this))
16     , dataReceptionTimer(new QTimer(this))
17 {
18     ui->setupUi(this);
19
20     // Configurar el QDoubleSpinBox
21     ui->doubleSpinBox->setDecimals(2); // Dos decimales para representar horas y minutos
22     ui->doubleSpinBox->setRange(0.00, 99.59); // Rango: hasta 99 horas y 59 minutos
23     ui->doubleSpinBox->setSingleStep(0.01); // Incremento de 1 minuto
24     ui->doubleSpinBox->setSuffix(" hh:mm"); // Sufijo para indicar horas:minutos
25     ui->dataTableWidget->setColumnCount(13); // Configura 12 columnas
26     QStringList headers = {"Estado", "Humedad", "Temperatura", "MQ2", "MQ3", "MQ4", "MQ6", "MQ7", "MQ8", "MQ136", "MQ137", "O2", "CO2"};
27     ui->dataTableWidget->setHorizontalHeaderLabels(headers);
28
29
30     // Configurar el puerto serial
31     serial->setPortName("COM5"); // Cambia el nombre del puerto según corresponda
32     serial->setBaudRate(QSerialPort::Baud115200);
33     serial->setDataBits(QSerialPort::Data8);
34     serial->setParity(QSerialPort::NoParity);
35     serial->setStopBits(QSerialPort::OneStop);
36     serial->setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);
37
38     // Abrir el puerto serial
39     if (!serial->open(QIODevice::ReadWrite)) { // Cambiado a ReadWrite para lectura y escritura
40         qDebug() << "No se pudo abrir el puerto serial.";
41         ui->statusLabel->setText("Estado: Error al abrir el puerto");
42         return;
43     } else {
44         qDebug() << "Puerto serial abierto.";
45         ui->statusLabel->setText("Estado: Conectado");
46     }
47
48     // Conectar el botón START con el slot
49     connect(ui->START, &QPushButton::toggled, this, &MainWindow::onStartButtonToggled);
50
51     // Configuración inicial del temporizador
52     dataReceptionTimer->setSingleShot(true);
53     connect(dataReceptionTimer, &QTimer::timeout, this, &MainWindow::onTimeout);
54
55     // Conectar el DoubleSpinBox con el cambio de tiempo
56     connect(ui->doubleSpinBox, QOverload<double>::of(&QDoubleSpinBox::valueChanged),
57             this, &MainWindow::onDoubleSpinBoxValueChanged);
58
59     // Inicializar el temporizador con el valor inicial del DoubleSpinBox
60     onDoubleSpinBoxValueChanged(ui->doubleSpinBox->value());
61
62     // Conectar el botón MQ2 con el slot
63     connect(ui->MQ2, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onMQ2Toggled);
64
65     // Conectar el botón MQ3 con el slot
66     connect(ui->MQ3, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onMQ3Toggled);
67
68     // Conectar el botón MQ4 con el slot
69     connect(ui->MQ4, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onMQ4Toggled);
70
71     // Conectar el botón MQ6 con el slot
72     connect(ui->MQ6, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onMQ6Toggled);
73
74     // Conectar el botón MQ7 con el slot
75     connect(ui->MQ7, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onMQ7Toggled);
76
77     // Conectar el botón MQ8 con el slot
78     connect(ui->MQ8, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onMQ8Toggled);
79
80     // Conectar el botón MQ136 con el slot
81     connect(ui->MQ136, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onMQ136Toggled);
82
83     // Conectar el botón MQ137 con el slot
84     connect(ui->MQ137, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onMQ137Toggled);
85
86     // Conectar el botón KE25 con el slot
87     connect(ui->KE25, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onKE25Toggled);
88
```

```

89 // Conectar el botón CO2 con el slot
90 connect(ui->CO2, &QCheckBox::toggled, this, &MainWindow::onCO2Toggled);
91
92 connect(ui->showDatabaseButton, &QPushButton::clicked, this, &MainWindow::onShowDatabaseToggled);
93
94 // Conectar señales del puerto serial
95 connect(serial, &QSerialPort::readyRead, this, &MainWindow::readSerialData);
96 connect(serial, &QSerialPort::errorOccurred, this, &MainWindow::handleSerialError);
97 }
98
99 ▼ MainWindow::~MainWindow()
100 {
101 ▼ if (serial->isOpen()) {
102     serial->close(); // Cerrar el puerto serial al salir
103     qDebug() << "Puerto serial cerrado.";
104 }
105 delete ui;
106 }
107
108 ▼ void MainWindow::onDoubleSpinBoxValueChanged(double value) {
109     // Separar la parte entera (horas) y la parte decimal (minutos)
110     int hours = static_cast<int>(value); // Parte entera: horas
111     int minutes = static_cast<int>((value - hours) * 100); // Parte decimal: minutos
112
113     // Validar que los minutos estén en el rango correcto
114     if (minutes >= 60) {
115         QMessageBox::warning(this, "Valor inválido", "Los minutos no pueden ser mayores a 59.");
116         return;
117     }
118
119     // Calcular el tiempo total en milisegundos
120     int totalMilliseconds = (hours * 3600 + minutes * 60) * 1000;
121
122     // Configurar el temporizador
123     dataReceptionTimer->setInterval(totalMilliseconds);
124
125     qDebug() << "Tiempo configurado:" << hours << "horas y" << minutes << "minutos";
126     qDebug() << "Intervalo en milisegundos:" << totalMilliseconds;
127 }
128
129
130 ▼ void MainWindow::onTimeout() {
131 ▼ if (serial->isOpen()) {
132     disconnect(serial, &QSerialPort::readyRead, this, &MainWindow::readSerialData);
133     qDebug() << "Tiempo límite alcanzado. Lectura de datos deshabilitada.";
134     ui->statusLabel->setText("Estado: Recepción de datos finalizada.");
135 }
136 }
137
138
139 ▼ void MainWindow::onStartButtonToggled(bool checked) {
140 ▼ if (serial->isOpen()) {
141 ▼ if (checked) {
142     serial->write("START\n");
143     ui->START->setText("STOP");
144
145     // Iniciar el temporizador
146     dataReceptionTimer->start();
147     qDebug() << "Temporizador iniciado con tiempo límite.";
148 } else {
149     serial->write("STOP\n");
150     ui->START->setText("START");
151
152     // Detener el temporizador si se cancela manualmente
153     if (dataReceptionTimer->isActive()) {
154         dataReceptionTimer->stop();
155         qDebug() << "Temporizador detenido.";
156     }
157 }
158 } else {
159     QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
160 }
161 }
162
163
164
165 ▼ void MainWindow::onMQ2Toggled(bool checked) {
166 ▼ if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
167 ▼ if (checked) {
168     serial->write("MQ2_ON\n"); // Activa la salida del sensor MQ2
169     qDebug() << "MQ2 activado.";
170     ui->statusLabel->setText("Sensor MQ2 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
171 } else {
172     serial->write("MQ2_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor MQ2
173     qDebug() << "MQ2 desactivado.";
174     ui->statusLabel->setText("Sensor MQ2 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
175 }
176 } else {
177     QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
178 }
179 }
180
181 ▼ void MainWindow::onMQ3Toggled(bool checked) {
182 ▼ if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
183 ▼ if (checked) {
184     serial->write("MQ3_ON\n"); // Activa la salida del sensor MQ2
185     qDebug() << "MQ3 activado.";
186     ui->statusLabel_2->setText("Sensor MQ3 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje

```

```

187 } else {
188     serial->write("MQ3_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor MQ3
189     qDebug() << "MQ3 desactivado.";
190     ui->statusLabel_2->setText("Sensor MQ3 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
191 }
192 } else {
193     QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
194 }
195 }
196
197 void MainWindow::onMQ4Toggled(bool checked) {
198     if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
199         if (checked) {
200             serial->write("MQ4_ON\n"); // Activa la salida del sensor MQ4
201             qDebug() << "MQ4 activado.";
202             ui->statusLabel_3->setText("Sensor MQ4 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
203         } else {
204             serial->write("MQ4_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor MQ4
205             qDebug() << "MQ4 desactivado.";
206             ui->statusLabel_3->setText("Sensor MQ4 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
207         }
208     } else {
209         QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
210     }
211 }
212
213 void MainWindow::onMQ6Toggled(bool checked) {
214     if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
215         if (checked) {
216             serial->write("MQ6_ON\n"); // Activa la salida del sensor MQ6
217             qDebug() << "MQ6 activado.";
218             ui->statusLabel_4->setText("Sensor MQ6 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
219         } else {
220             serial->write("MQ6_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor MQ6
221             qDebug() << "MQ6 desactivado.";
222             ui->statusLabel_4->setText("Sensor MQ6 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
223         }
224     } else {
225         QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
226     }
227 }
228
229 void MainWindow::onMQ7Toggled(bool checked) {
230     if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
231         if (checked) {
232             serial->write("MQ7_ON\n"); // Activa la salida del sensor MQ7
233             qDebug() << "MQ7 activado.";
234             ui->statusLabel_5->setText("Sensor MQ7 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
235         } else {
236             serial->write("MQ7_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor MQ7
237             qDebug() << "MQ7 desactivado.";
238             ui->statusLabel_5->setText("Sensor MQ7 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
239         }
240     } else {
241         QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
242     }
243 }
244
245 void MainWindow::onMQ8Toggled(bool checked) {
246     if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
247         if (checked) {
248             serial->write("MQ8_ON\n"); // Activa la salida del sensor MQ8
249             qDebug() << "MQ8 activado.";
250             ui->statusLabel_6->setText("Sensor MQ8 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
251         } else {
252             serial->write("MQ8_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor MQ8
253             qDebug() << "MQ8 desactivado.";
254             ui->statusLabel_6->setText("Sensor MQ8 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
255         }
256     } else {
257         QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
258     }
259 }
260
261 void MainWindow::onMQ136Toggled(bool checked) {
262     if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
263         if (checked) {
264             serial->write("MQ136_ON\n"); // Activa la salida del sensor MQ136
265             qDebug() << "MQ136 activado.";
266             ui->statusLabel_7->setText("Sensor MQ136 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
267         } else {
268             serial->write("MQ136_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor MQ136
269             qDebug() << "MQ136 desactivado.";
270             ui->statusLabel_7->setText("Sensor MQ136 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
271         }
272     } else {
273         QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
274     }
275 }
276
277 void MainWindow::onMQ137Toggled(bool checked) {
278     if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
279         if (checked) {
280             serial->write("MQ137_ON\n"); // Activa la salida del sensor MQ137
281             qDebug() << "MQ137 activado.";
282             ui->statusLabel_8->setText("Sensor MQ137 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
283         } else {
284             serial->write("MQ137_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor MQ137
285             qDebug() << "MQ137 desactivado.";
286             ui->statusLabel_8->setText("Sensor MQ137 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
287         }
288     }
289 }

```

```

288     } else {
289         QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
290     }
291 }
292
293 void MainWindow::onKE25ToggleLed(bool checked) {
294     if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
295         if (checked) {
296             serial->write("KE25_ON\n"); // Activa la salida del sensor KE25
297             qDebug() << "KE25 activado.";
298             ui->statusLabel_9->setText("Sensor KE25 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
299         } else {
300             serial->write("KE25_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor KE25
301             qDebug() << "KE25 desactivado.";
302             ui->statusLabel_9->setText("Sensor KE25 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
303         }
304     } else {
305         QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
306     }
307 }
308
309 void MainWindow::onCO2ToggleLed(bool checked) {
310     if (serial->isOpen()) { // Verifica si el puerto serial está abierto
311         if (checked) {
312             serial->write("CO2_ON\n"); // Activa la salida del sensor CO2
313             qDebug() << "CO2 activado.";
314             ui->statusLabel_10->setText("Sensor CO2 Activado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
315         } else {
316             serial->write("CO2_OFF\n"); // Desactiva la salida del sensor CO2
317             qDebug() << "CO2 desactivado.";
318             ui->statusLabel_10->setText("Sensor CO2 Desactivado"); // Actualiza el QLabel con el mensaje
319         }
320     } else {
321         QMessageBox::warning(this, "Error", "El puerto serial no está abierto.");
322     }
323 }
324
325 int currentRow = 0;
326 int currentColumn = 0;
327
328 void MainWindow::readSerialData() {
329     if (serial->canReadLine()) { // Verifica si hay datos disponibles para leer
330         QByteArray data = serial->readLine(); // Lee los datos
331         QString message = QString::fromUtf8(data).trimmed(); // Convierte los datos a texto y elimina espacios en blanco
332         qDebug() << "Datos recibidos:" << message;
333
334         // Inserta una nueva fila si es la primera o si la anterior ya está completa
335         if (currentColumn == 0) {
336             ui->dataTableWidget->insertRow(currentRow);
337         }
338
339         // Agrega el dato a la celda correspondiente
340         QTableWidgetItem *item = new QTableWidgetItem(message);
341         ui->dataTableWidget->setItem(currentRow, currentColumn, item);
342
343         // Avanza a la siguiente columna
344         currentColumn++;
345
346         // Si completó la fila, avanza a la siguiente fila y reinicia la columna
347         if (currentColumn == 13) {
348             currentColumn = 0;
349             currentRow++;
350         }
351     }
352 }
353
354 void MainWindow::handleSerialError(QSerialPort::SerialPortError error) {
355     if (error != QSerialPort::NoError) {
356         QMessageBox::critical(this, "Error de Puerto Serial", serial->errorString());
357         qDebug() << "Error de puerto serial:" << serial->errorString();
358     }
359 }
360
361 #include <QFile>
362 #include <QTextStream>
363 #include <QMessageBox>
364
365 void MainWindow::exportToCSV()
366 {
367     QString fileName = QFileDialog::getSaveFileName(this, "Guardar archivo CSV", "", "Archivos CSV (*.csv)");
368     if (fileName.isEmpty()) {
369         return; // El usuario canceló el diálogo
370     }
371
372     QFile file(fileName);
373     if (!file.open(QIODevice::WriteOnly | QIODevice::Text)) {
374         QMessageBox::warning(this, "Error", "No se pudo abrir el archivo para escribir.");
375         return;
376     }
377
378     QTextStream out(&file);
379
380     // Exportar los datos de la tabla
381     int rowCount = ui->dataTableWidget->rowCount();
382     int columnCount = ui->dataTableWidget->columnCount();
383
384     // Escribir encabezados de columna
385     for (int col = 0; col < columnCount; ++col) {
386         out << ui->dataTableWidget->horizontalHeaderItem(col)->text();
387         if (col < columnCount - 1) {
388             out << ",";
389         }
390     }
391     out << "\n";

```

```
392
393 // Escribir datos de la tabla
394 for (int row = 0; row < rowCount; ++row) {
395     for (int col = 0; col < columnCount; ++col) {
396         QTableWidgetItem *item = ui->dataTableWidget->item(row, col);
397         out << (item ? item->text() : "");
398         if (col < columnCount - 1) {
399             out << ",";
400         }
401         out << "\n";
402     }
403 }
404
405 file.close();
406 QMessageBox::information(this, "Éxito", "Archivo CSV guardado correctamente.");
407 }
408
409
410 void MainWindow::onShowDatabaseToggled(bool checked)
411 {
412     if (checked) {
413         ui->showDatabaseButton->setEnabled(false); // Desactiva el botón temporalmente
414         exportToCSV();
415         ui->showDatabaseButton->setEnabled(true); // Reactívalo después de exportar
416         ui->showDatabaseButton->setChecked(false);
417     }
418 }
```