



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DETERMINACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE DETECCIÓN DE UN
PROTOTIPO BASADO EN SENSORES ELECTROQUÍMICOS
RESISTIVOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS
VOLÁTILES ORGÁNICOS DE ORIGEN ALIMENTARIO Y
AGROALIMENTARIO”**

TESIS

Para obtener el grado de:

LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

Presenta:

EMILIO MORALES LÓPEZ

Asesor de tesis:

DR. FRANCISCO MANUEL PACHECO AGUIRRE

SEPTIEMBRE 2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar un espacio especial en estas líneas para expresar mi profundo agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en mi trayecto académico y personal.

Primero, y ante todo, a mis padres, Leoncia López y Emilio Morales quienes han sido la roca sobre la cual se ha edificado mi vida. Su sacrificio, amor incondicional y constante apoyo han sido los cimientos de mi crecimiento y desarrollo. Desde mi primer día de escuela hasta hoy, han sido un faro de sabiduría y guía, inculcándome valores como la dedicación, la perseverancia y la búsqueda constante del conocimiento. Sin su inquebrantable apoyo, esta tesis nunca habría visto la luz. A ustedes, les debo todo.

A mis hermanas, Jessica, Montserrat e Ivonne, quienes han compartido cada paso de este viaje conmigo. Su amor, complicidad y alegría han sido una fuente inagotable de inspiración. En los momentos de desafío, su ánimo me ha dado fuerzas para seguir adelante, y en los momentos de alegría, sus risas han iluminado mi vida. Nuestra unión como familia es un regalo que valoro más allá de las palabras.

A mis amigos, cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón. Las noches interminables de estudio, las discusiones apasionadas y los momentos compartidos fuera de las aulas han enriquecido mi vida de maneras inesperadas. Su apoyo y camaradería me han ayudado a equilibrar las demandas académicas con la vida social, haciendo que este viaje sea más significativo y divertido. Gracias por ser pilares en mi vida y por formar parte de esta etapa crucial.

A mi asesor de tesis, el Dr. Francisco Manuel Pacheco Aguirre, quiero expresar mi más profundo agradecimiento. Su experiencia, sabiduría y dedicación a la investigación han sido una fuente constante de inspiración. Cada reunión, cada

consejo y cada corrección fueron invaluablemente constructivos. El Dr. Pacheco Aguirre no solo me guio en el proceso de investigación, sino que también me instó a alcanzar estándares más altos de excelencia académica. Su mentoría ha dejado una marca indeleble en mi desarrollo como estudiante y como persona.

A la Dra. Mayra Ruiz y a la Mtra. Margarita Romano, mis respetadas sinodales de tesis, les agradezco por su valioso tiempo, conocimientos y observaciones durante la defensa de este trabajo. Su experiencia y perspicacia enriquecieron este proyecto y me ayudaron a ver nuevos horizontes en mi investigación. Su retroalimentación constructiva ha sido fundamental para mejorar y perfeccionar esta tesis.

Cada uno de ustedes ha contribuido de manera única a mi éxito, y por eso estoy eternamente agradecido. Este logro no solo es mío, sino también de quienes han estado a mi lado, ofreciendo su apoyo incondicional. A todos los mencionados y a aquellos que, por razones de espacio, no he nombrado, les envío mi gratitud más sincera. Esta tesis es el producto de nuestro esfuerzo colectivo y refleja el amor y apoyo que he recibido a lo largo de este viaje académico.

GRACIAS, DE TODO CORAZÓN.

Índice general

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Capítulo I Antecedentes.....	4
Antecedentes del proyecto.....	5
Planteamiento del problema.....	17
Justificación.....	17
Hipótesis.....	17
Objetivos.....	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos.....	18
Capítulo II Metodología.....	19
Metodología general.....	20
Metodología del objetivo específico 1.....	21
Metodología del objetivo específico 2.....	25
Metodología del objetivo específico 3.....	26
Resultados y Discusión.....	28
Resultados.....	29
Discusión.....	70
Conclusiones.....	71
Referencias bibliográficas.....	72
Anexos.....	74
Anexo 1: Diseño y construcción de la cámara de muestreo.....	75
Anexo 2: Rutina de muestreo de la cámara de muestreo realizado con LabVIEW.....	77
Anexo 3: Hojas de datos de los ocho sensores instalados en la cámara de muestreo.....	78
Anexo 4: Instrucciones de uso para la obtención de valores de referencia para el equipo de muestreo.....	96

Anexo 5: Instrucciones de uso para la obtención de valores de medición de las muestras de interés con el equipo de medición..... 98

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama que representa el funcionamiento del cromatógrafo de gases para la técnica de Cromatografía Gas-Líquido. Fuente: Gomis (2008).....	6
Figura 2. Equipo desarrollado por Trirongjitmoah (2015) para analizar cultivos de ajo a través de sus compuestos volátiles. Fuente: Trirongjitmoah (2015).....	9
Figura 3. Equipo desarrollado por Heredia (2016) para la detección de múltiples olores. Fuente: Heredia (2016).....	10
Figura 4. Diagrama de flujo del funcionamiento del equipo realizado por Rahman (2017). Fuente: Rahman (2017)	10
Figura 5. Equipo desarrollado por Carbajal (2018) para la detección de gas licuado de petróleo. Fuente: Carbajal (2018).....	11
Figura 6. Diagrama de flujo aplicado en el equipo construido por Magfira (2018). Fuente: Magfira (2018).....	12
Figura 7. Sistema de detección propuesto por Flórez (2020) para el análisis de almendras de cacao. Fuente: Flórez (2020).....	13
Figura 8. Sistema de detección propuesto por Gudiño (2021) para analizar el nivel de madurez de frutas de interés. Fuente: Gudiño (2021)	14
Figura 9. Equipo propuesto por Yavuzer (2021) para analizar pescado crudo. Fuente: Yavuzer (2021).....	14
Figura 10. Diagrama del equipo propuesto por Aldwayne (2022) para la medición de cuatro variedades de café. Fuente: Aldwayne (2022)	15
Figura 11. Metodología del objetivo general de este proyecto	21
Figura 12. Metodología del objetivo específico 1	24
Figura 13. Metodología del objetivo específico 2	26
Figura 14. Metodología del objetivo específico 3	27
Figura 15. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ2.....	59
Figura 16. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ3.....	60

Figura 17. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ4.....	60
Figura 18. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ5.....	61
Figura 19. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ6.....	61
Figura 20. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ7.....	62
Figura 21. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ8.....	62
Figura 22. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ9.....	63
Figura 23. Forma 1 encontrada en las gráficas de los sensores. Se observa que la curva promedio es la línea roja.	64
Figura 24. Forma 2 encontrada en las gráficas de los sensores. Se observa que la curva promedio es la línea roja.	64
Figura 25. Forma 3 encontrada en las gráficas de los sensores. Se observa que la curva promedio es la línea roja.	65
Figura 26. Curva promedio obtenida a partir de las tres curvas anteriores	65
Figura 27. Curva promedio final, también llamada "huella dactilar", para el etanol66	
Figura 28. Curva promedio de la cerveza Corona nueva	66
Figura 29. Curva promedio de la cerveza Dos Equis nueva.....	67
Figura 30. Curva promedio de la cerveza Corona abierta.....	67
Figura 31. Curva promedio de la cerveza Dos Equis abierta	68
Figura 32. Curva promedio del café de cafetera	68
Figura 33. Curva promedio del jugo de limón.....	69
Figura 34. Curva promedio del saborizante de vainilla.....	69
Figura 35. Plano de la parte externa realizado en Sketch Up (Fuente: propia)	75
Figura 36. Plano de la parte interna realizado en Sketch Up (Fuente: propia)	75
Figura 37. Diagrama unifilar (diagrama eléctrico) del prototipo diseñado, realizado en SmartDraw (Fuente: propia).....	76

Figura 38. Instalación de la cámara de sensores en la mesa (Fuente: propia) 76

Figura 39. Diagrama de bloques realizado en LabVIEW, para el manejo de la cámara de muestreo (Fuente: propia) 77

Índice de tablas

Tabla 1. Síntesis de antecedentes de cámaras de muestreo hechas desde el año 2015 hasta el año 2022.....	16
Tabla 2. Características principales, rangos de detección y temperatura de funcionamiento de los sensores electroquímicos elegidos.....	30
Tabla 3. Datos resumidos de la medición de valores realizada al etanol.....	34
Tabla 4. Datos resumidos de la medición de valores realizada al agua.....	35
Tabla 5. Datos resumidos de la medición de valores realizada en el aire.....	36
Tabla 6. Datos resumidos de la medición de valores realizada a la cerveza Corona nueva.....	37
Tabla 7. Datos resumidos de la medición de valores realizada a la cerveza Dos Equis nueva.....	38
Tabla 8. Datos resumidos de la medición de valores realizada a la cerveza Corona abierta.....	39
Tabla 9. Datos resumidos de la medición de valores realizada a la cerveza Dos Equis abierta.....	40
Tabla 10. Datos resumidos de la medición de valores realizada al café de cafetera.....	41
Tabla 11. Datos resumidos de la medición de valores realizada al jugo de limón.....	42
Tabla 12. Datos resumidos de la medición de valores realizada al saborizante de vainilla.....	43
Tabla 13. Resumen estadístico de la primera prueba realizada en el aire.....	46
Tabla 14. Resumen estadístico de la segunda prueba realizada en el aire.....	46
Tabla 15. Resumen estadístico de la tercera prueba realizada en el aire.....	47
Tabla 16. Promedio de los promedios (valores de referencia) de las tres pruebas realizadas en el aire.....	47
Tabla 17. Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al etanol.....	47
Tabla 18. Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al agua.....	48

Tabla 19: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas a la cerveza Corona nueva	48
Tabla 20: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas a la cerveza Dos Equis nueva.....	49
Tabla 21: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas a la cerveza Corona abierta	49
Tabla 22: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas a la cerveza Dos Equis abierta	50
Tabla 23: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al café de cafetera.....	50
Tabla 24: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al jugo de limón.....	51
Tabla 25: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al saborizante de vainilla.....	51
Tabla 26. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del aire	53
Tabla 27. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del agua	53
Tabla 28. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del etanol	53
Tabla 29. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia de la cerveza Corona nueva	54
Tabla 30. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia de la cerveza Dos Equis nueva.....	54
Tabla 31. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia de la cerveza Corona abierta	54
Tabla 32. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia de la cerveza Dos Equis abierta.....	55
Tabla 33. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del café de cafetera.....	55

Tabla 34. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del jugo de limón	55
Tabla 35. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del saborizante de vainilla	56
Tabla 36. Tabla comparativa de los valores de las sustancias de referencia utilizadas en la experimentación (aire, agua y etanol).....	57
Tabla 37. Tabla comparativa de los valores de la cerveza utilizada en la experimentación	57
Tabla 38. Tabla comparativa de los valores de las demás sustancias utilizadas en la experimentación (café de cafetera, jugo de limón y saborizante de vainilla)	58

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal desarrollar un sistema de detección de volátiles en productos de origen alimentario utilizando ocho sensores electroquímicos resistivos MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8 y MQ9 en conjunto con una rutina de muestreo a través de un software de detección, con el objetivo de poder conocer los límites de detección de este equipo, sus similitudes con equipos de muestreo como las narices electrónicas y los cromatogramas de gases, así como su aplicación en todos los rubros de la industria alimentaria y agroalimentaria.

Para lograr este objetivo, se realizaron estudios previos sobre los sensores más adecuados y se estableció una metodología para su implementación. A través de experimentos de detección, se obtuvieron resultados de tipo numérico, los cuales representan los productos alimentarios a identificar. Estos datos, al ser graficados, mostraron un comportamiento gaussiano y se observa que la amplitud de la gráfica depende de la sensibilidad de los sensores electroquímicos MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8 y MQ9 instalados. Con esto se permitió evaluar la eficacia y aplicabilidad del sistema desarrollado.

Los hallazgos de esta investigación contribuyen al conocimiento existente en el campo de la detección de volátiles en alimentos (caracterización) y ofrecen perspectivas para su implementación en la industria alimentaria.

Palabras clave: volátiles, sensores, productos de origen alimentario, seguridad alimentaria, calidad de alimentos.

Abstract

The main objective of this research is to develop a volatile detection system in food products using eight resistive electrochemical sensors: MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8, and MQ9, along with a sampling routine through detection software. The aim is to determine the detection limits of this equipment, its similarities with sampling devices such as electronic noses and gas chromatograms, as well as its application in all sectors of the food and agri-food industry.

To achieve this objective, preliminary studies were conducted to identify the most suitable sensors, and a methodology was established for their implementation. Detection experiments were performed, generating numerical results that represent the identified food products. When plotted, these data showed a Gaussian behavior, with the graph's amplitude depending on the sensitivity of the installed MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8, and MQ9 electrochemical sensors. This allowed for the evaluation of the effectiveness and applicability of the developed system.

The findings of this research contribute to the existing knowledge in the field of volatile detection in food (characterization) and provide perspectives for its implementation in the food industry.

Keywords: volatiles, sensors, food products, food safety, food quality.

Introducción

El sector de alimentos enfrenta constantemente desafíos relacionados con la seguridad y la calidad de los productos, debido a que, para garantizar la calidad de los alimentos se deben conocer parámetros como su estado de madurez, su estado de descomposición y el procesamiento que ha tenido.

Para ello, se pueden analizar los volátiles, los cuales son compuestos químicos volátiles presentes en los alimentos, pueden ser indicadores de la presencia de microorganismos, del deterioro del alimento o de su contaminación con ciertas sustancias.

Por lo tanto, la detección temprana y precisa de estos volátiles es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y mantener la calidad de los productos. En este contexto, el desarrollo de un sistema de detección de volátiles basado en sensores electroquímicos resistivos MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8 y MQ9 se presenta como una solución prometedora.

Esta tesis tiene como objetivo abordar esta problemática y desarrollar un sistema de detección de volátiles en productos de origen alimentario mediante el uso de sensores.

Capítulo I

Antecedentes

Antecedentes del proyecto

En la actualidad, todas las áreas en torno a la producción, procesamiento y distribución del procesamiento de alimentos requieren de una precisión que garantiza, en todo momento, los estándares de calidad asociados al producto. En este sentido, la caracterización de los diferentes productos y sus componentes se convierten en una prioridad inherentes del proceso. Por ello, tecnologías como la cromatografía de gases y la nariz electrónica se aplican al análisis de productos alimentarios.

La cromatografía de gases se divide en dos tipos, los cuales son la Cromatografía Gas – Sólido (CGS) y la Cromatografía Gas – Líquido (CGL). En este caso, nos enfocaremos en la Cromatografía Gas – Líquido (CGL). Gomis (2008) explica que este tipo de cromatografía es una técnica analítica que consiste en la separación de mezclas de compuestos volátiles para su identificación, teniendo su fundamento en el desplazamiento de la muestra con una fase móvil, a través de una fase estacionaria inmisible fijada en una columna. La elección de las fases móvil y estacionaria depende de la naturaleza del analito para procurar una buena distribución dentro de la columna. Con esto, los componentes se mueven según su naturaleza, es decir, si los componentes son retenidos fuertemente por la columna se moverán lentamente a través de ella; por otro lado, si los componentes son retenidos débilmente por la columna se moverán rápidamente a través de la misma. Gracias a esto, se pueden observar las diferentes bandas de los diferentes componentes de la muestra y se pueden identificar cualitativa o cuantitativamente, según sea el caso. En la Figura 1 se muestra un diagrama del funcionamiento del cromatógrafo de gases para la técnica de Cromatografía Gas-Líquido.

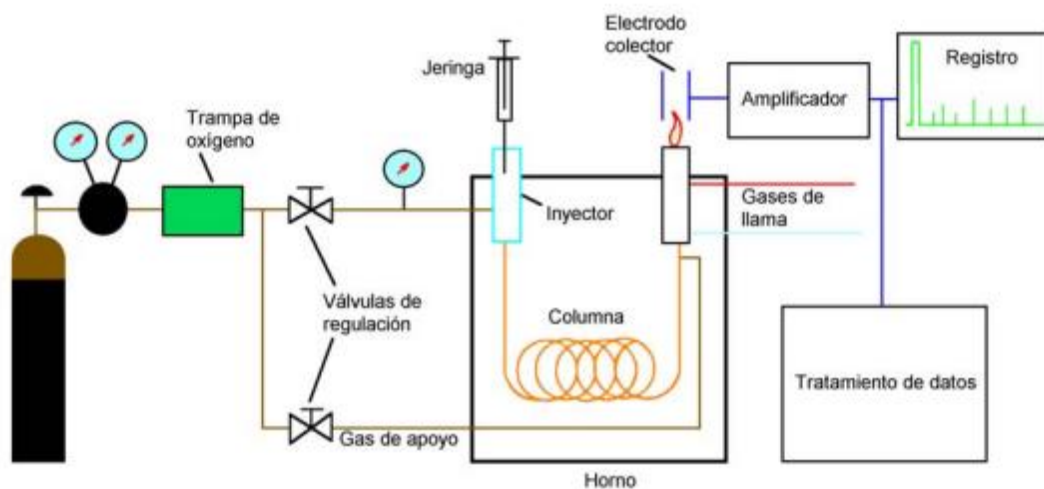


Figura 1. Diagrama que representa el funcionamiento del cromatógrafo de gases para la técnica de Cromatografía Gas-Líquido. Fuente: Gomis (2008).

Vázquez (2020) asegura que, para que el uso de esta técnica sea viable la cámara temperatura de la cámara de volatilización debe utilizar una temperatura de 50 °C más alta que la temperatura de ebullición del componente más volátil de la mezcla de analitos, además de que los compuestos volátiles a analizar deben ser compuestos térmicamente estables y fácilmente volatilizables.

El procedimiento de esta técnica comienza con la volatilización de la muestra de interés. A continuación, la muestra se inyecta en una columna cromatográfica, la cual se conecta a una corriente de gas inerte. Una vez inyectado, los componentes se van separando y pasan hacia un sistema de detección adecuado. Sin embargo, existen dos problemas principales con este tipo de análisis:

1. Los precios de los equipos que permiten este análisis, los cuales suelen ser demasiado altos, por ello la mayoría no tiene acceso a este tipo de tecnología.

2. La preparación del analito, ya que se debe destruir para poder analizarse, además de que se inyectan cantidades muy pequeñas, del orden de partes por millón, lo que representa un importante desperdicio de muestra.

Por otro lado, surgió la idea de una nariz electrónica. Moreno (2009) refiere que la nariz electrónica nació en los años 1960 cuando se desarrolló un dispositivo electrónico llamado "Sniffer", el cual poseía un solo sensor de gas; y más tarde, se creó el concepto de nariz electrónica en 1982, en la Universidad de Warwick, por Persaud y Dodd. Lo que ellos buscaron fue imitar la estructura de la nariz humana mediante un procesamiento de señales de estos receptores (red neuronal) y el uso de receptores no específicos (sensores) de manera conjunta.

Los sensores que están integrados en la estructura física de la nariz electrónica están en interacción con compuestos volátiles de manera física y química. Por consiguiente, como lo identifica Schaller (1998), deben cumplir con los siguientes criterios:

1. Similares a la nariz humana en cuanto a detección de volátiles (concentración menor a 10^{-12} g/L).
2. Baja sensibilidad a la humedad y a la temperatura.
3. Deben responder a diferentes componentes en el espacio libre de la muestra.
4. Deben ser altamente estables ante el ambiente.
5. Deben ser altamente reproducibles y estables.
6. Deben tener un corto tiempo de reacción y de recuperación.
7. Deben ser fácilmente calibrables.
8. Deben ser pequeños.
9. Deben generar datos de salida de fácil procesamiento.

Además de estas características fundamentales de los sensores, se debe tener en cuenta el funcionamiento de ellos, esto a causa de la especificidad de los sensores con la detección de un cierto grupo específico de compuestos volátiles. También,

se debe tener en cuenta el tipo y tiempo de respuesta de los sensores. Del tipo de respuesta depende del cambio del parámetro físico que maneje el sensor como la conductividad o la corriente. Mientras que, del tiempo de respuesta, depende del tiempo de reacción del sensor, que suele ir de segundos a minutos.

Con el desarrollo de la nariz electrónica, la cata de alimentos mostró un gran interés, debido a que los expertos que catalogan los aromas (catadores) tienden a ser subjetivos y les afectan los factores externos como el clima, el cansancio, su estado de salud, entre otros. Mientras que a la nariz electrónica no le afectan estos factores externos, siendo de gran ayuda para la catalogación de alimentos.

Hoy en día, se proponen y se desarrollan una gran cantidad de prototipos tecnológicos con base en la cámara de muestreo, en los cuales es posible tener la valoración cuantitativa y cualitativa de diversos componentes específicos.

Por ejemplo, Trirongjitmoah (2015) desarrolló una cámara cerrada de muestreo de geometría cilíndrica con una capacidad de 2.4 litros (Figura 2) para la clasificación de cultivos de ajo, considerando como parámetro el aroma que desprenden el cual está asociado con la presencia y posterior oxidación de alicina y otros tiosulfatos, gracias al uso de ocho sensores de gas electroquímicos etiquetados como S1(MQ2), S2(MQ135), S3(TGS822), S4(TGS826), S5(TGS2600), S6(TGS2602), S7(TGS2611) y S8(TGS2620), los cuales se distribuyen en la parte superior de la cámara cerrada. Con esto lograron su objetivo de determinar, mediante niveles de saturación de los sensores, los diferentes cultivos de ajo analizados.

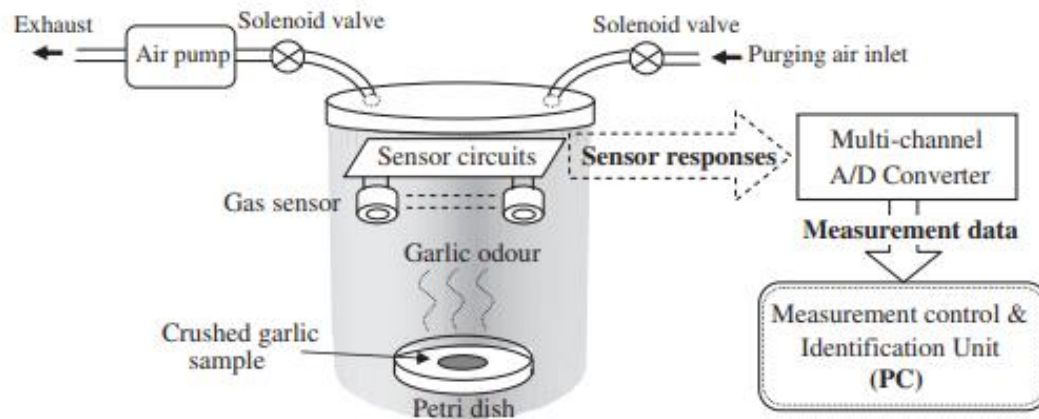


Figura 2. Equipo desarrollado por Trirongjitmoah (2015) para analizar cultivos de ajo a través de sus compuestos volátiles. Fuente: Trirongjitmoah (2015).

Posteriormente, Heredia (2016) construyó una cámara de muestreo cerrada de geometría cúbica con capacidad volumétrica no específica (Figura 3), con el objetivo de determinar las siguientes sustancias las cuales son manzana, guanábana en descomposición, isopropanol, blanqueador, naranja, toronja, perfume, flores de jazmín, plátanos, piñas, eucalipto, naftalina, vainilla, maní, azufre, vinagre, azúcar, chocolate, hoja de té verde y pimienta. Los resultados obtenidos reportan que la detección se logra en el rango del 77.68 por ciento (para la detección de azúcar y chocolate), al 99.95 por ciento (para la detección de manzana y guanábana en descomposición), gracias a la utilización de siete sensores de gas electroquímicos etiquetados como A(MQ8), B(MQ5), C(MQ138), D(MQ6), E(MQ2), F(MQ136) y G(MQ135) conectados a un microcontrolador Arduino y el software MATLAB.

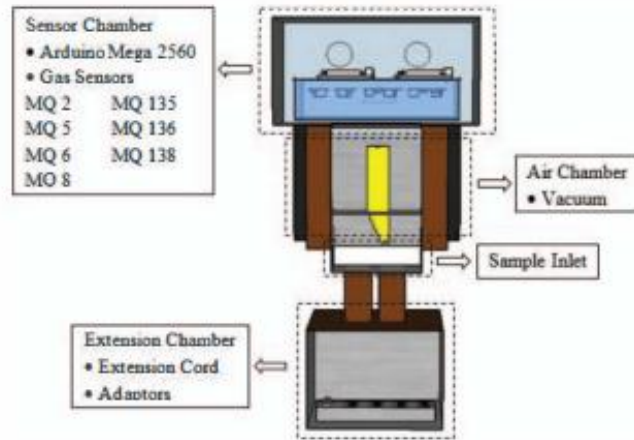


Figura 3. Equipo desarrollado por Heredia (2016) para la detección de múltiples olores. Fuente: Heredia (2016)

Después, Rahman (2017) desarrolló una cámara de muestreo con dimensiones no específicas, para la determinación de la calidad de carne de puerco y de res a partir del desprendimiento de gases de descomposición de la carne como el amoniaco, la acetona y el ácido sulfhídrico. La cámara tiene nueve sensores de gas electroquímicos etiquetados como S1(MQ2), S2(MQ4), S3(MQ6), S4(MQ9), S5(MQ135), S6(MQ136), S7(MQ137), S8(MQ138) y S9(DHT22), los cuales están instalados en la cámara y conectados al hardware Arduino Mega 2560. Este trabajo logró determinar la calidad el 75 por ciento de las muestras de carne analizadas. El diagrama de funcionamiento se muestra en la Figura 4.

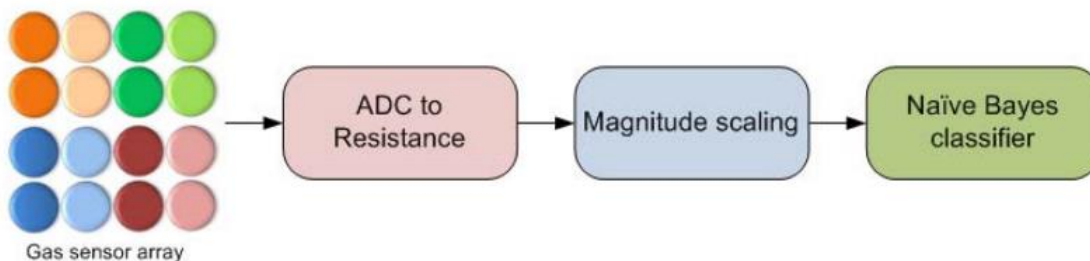


Figura 4. Diagrama de flujo del funcionamiento del equipo realizado por Rahman (2017). Fuente: Rahman (2017)

Posteriormente, Carbajal (2018) utilizó una cámara con geometría cilíndrica (Figura 5) para la acumulación de gas licuado de petróleo. Se instalaron cuatro sensores de

gas electroquímicos MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135 en la parte superior de la cámara, los cuales determinaron la concentración de gas a partir de la variación de voltaje de los sensores. Estos sensores se encuentran conectados a un circuito de control con una tarjeta Arduino Mega 2560 y una laptop para el análisis de datos utilizando los softwares Excel y MATLAB. El prototipo de nariz electrónica permite la detección de una concentración media de gas licuado de petróleo en un minuto, y de una concentración alta de gas licuado de petróleo en tres minutos.



Figura 5. Equipo desarrollado por Carbajal (2018) para la detección de gas licuado de petróleo. Fuente: Carbajal (2018)

De manera simultánea, Magfira (2018), desarrolló un prototipo para clasificar granos de café tostado tipo Arábigo y Robusta. El diseño del prototipo presenta una cámara de detección con un sensor de gas electroquímico MQ135 acoplado en el domo. Este sensor tiene la capacidad de detectar cambios en el voltaje del sensor según la concentración del gas que desprende el grano de café tostado. Este sensor fue instalado en conjunto de un circuito de control con Arduino, y utilizó un software propio para el análisis de resultados. Al final el autor logró determinar una precisión de detección del tostado de café en un rango de 57 al 71 por ciento. El diagrama de flujo que se aplica a este equipo se muestra en la Figura 6.

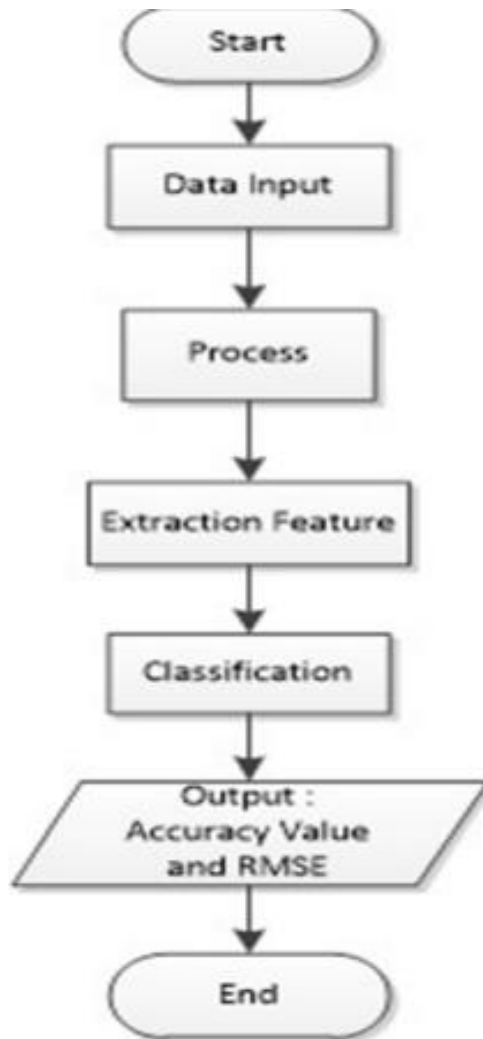


Figura 6. Diagrama de flujo aplicado en el equipo construido por Magfira (2018). Fuente: Magfira (2018)

Más adelante, Flórez (2020) diseñó una cámara de muestreo de geometría cilíndrica (Figura 7), con capacidad para 20 gramos de almendras de cacao y acondicionada con una celda Peltier para controlar la temperatura del interior. Con esta cámara se determina la calidad de fermentación del cacao cosechado mediante la detección de su aroma característico. Esta cámara tiene instalados diez sensores de gas electroquímicos etiquetados como S1(MQ4), S2(MQ135), S3(MQ2), S4(MQ8), S5(MQ5), S6(MQ3), S7(MQ6), S8(MQ3), S9(MQ7) y S10(MQ9), conectados a una tarjeta Arduino Mega 2560, y se utilizan los softwares LabVIEW, MATLAB y Python.

Lograron una precisión del 93.8 por ciento al 97.8 por ciento utilizando métodos de análisis propios.

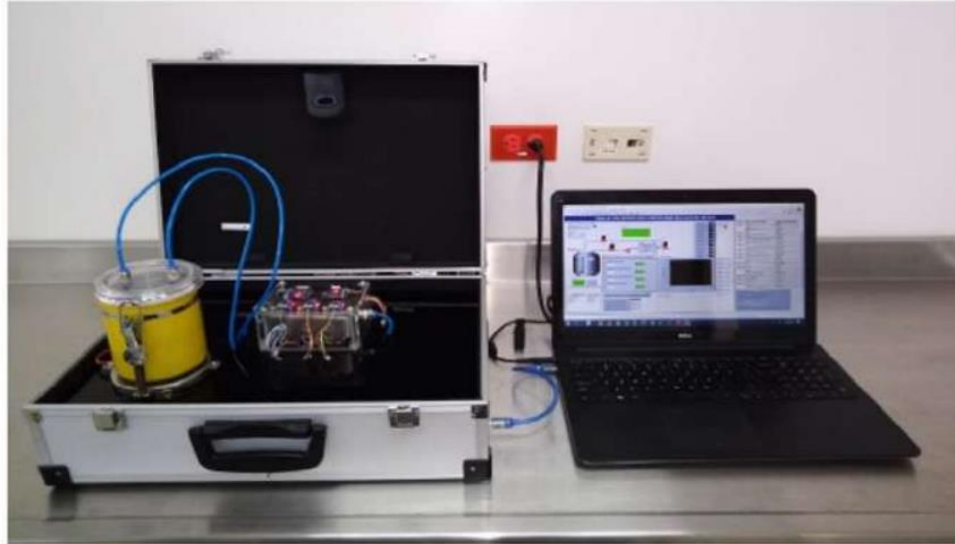


Figura 7. Sistema de detección propuesto por Flórez (2020) para el análisis de almendras de cacao. Fuente: Flórez (2020)

Un año después, Gudiño (2021) diseñó un sistema de detección de volátiles dividida en tres cámaras rectangulares individuales de 25×18×14 cm construidas en acrílico (Figura 8). En la primera cámara se instaló un generador de ozono (ozonificador), en la segunda cámara se colocaron las frutas maduras de interés, las cuales son manzanas y plátanos maduros; y en la tercera cámara se colocó la fruta de interés a madurar, que en este caso es aguacate. Esto se hizo con el objetivo de monitorear la maduración de frutas mediante el uso de gas etileno producido por las mismas frutas y monitoreado a través de sensores de gas electroquímicos. En la última cámara, en donde se encuentra la fruta de interés a madurar, se instalaron once sensores de gas electroquímicos etiquetados como A1(MQ2), A2(MQ2), A3(MQ3), A4(MQ4), A5(MQ9), D2(DHT22), A6(MQ2), A7(MQ3), A8(MQ4), D3(DHT22) y A9(4-ETO-500). Como resultado, la nariz electrónica puede predecir la maduración del aguacate, mientras que la red neuronal permitió verificar el estado en tiempo real de la fruta a madurar.

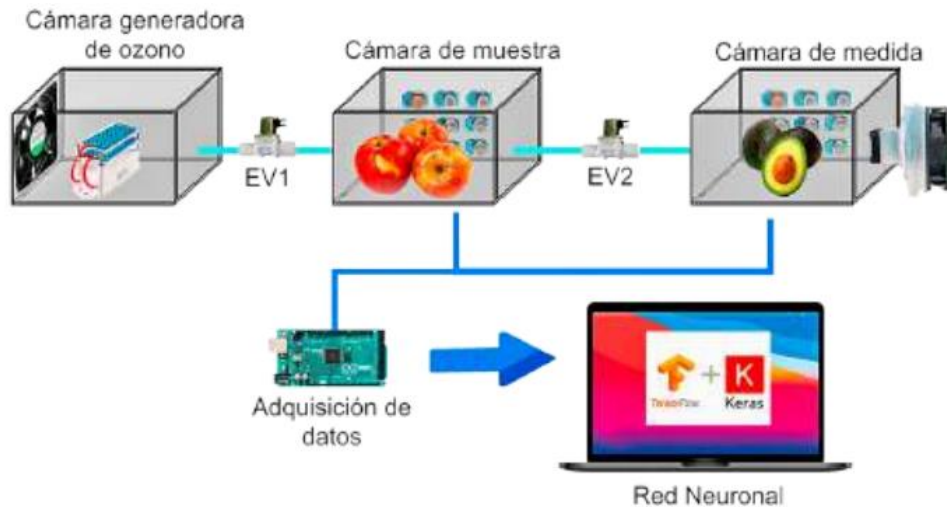


Figura 8. Sistema de detección propuesto por Gudiño (2021) para analizar el nivel de madurez de frutas de interés. Fuente: Gudiño (2021)

Luego, Yavuzer (2021) desarrolló dos cámaras de muestreo: la primera la desarrolló con capacidad de un kilogramo aproximadamente y la segunda con capacidad de 10 gramos (Figura 9). Estas cámaras se desarrollaron para determinar los parámetros de la calidad de la trucha arcoíris, besugo y lubina. Las cámaras tienen instalados seis sensores de gas electroquímicos etiquetados como S1(MQ3), S2(MQ4), S3(MQ5), S4(MQ8), S5(MQ9) y S6(MQ135) en la parte superior y están conectados a una tarjeta Arduino Uno R3. Los datos obtenidos fueron procesados con el software de análisis estadístico SPSS22. Como resultado, la nariz electrónica logró determinar la frescura del pescado analizado.



Figura 9. Equipo propuesto por Yavuzer (2021) para analizar pescado crudo. Fuente: Yavuzer (2021)

Finalmente, Aldwayne (2022) desarrolló una cámara de muestreo de geometría cilíndrica de capacidad no específica (Figura 10) para clasificar las variedades de café molido Arábica, Robusta, Excelsa y Liberica a través de su aroma. Se utilizaron cuatro sensores de gas electroquímicos MQ2, MQ7, MQ135 y MQ137 instalados en la parte superior de la cámara, los cuales están conectados a una tarjeta Arduino UNO y al software MATLAB. Esta cámara de muestreo logró identificar las cuatro variedades de café, con una precisión del 100 por ciento utilizando técnicas de análisis propios.

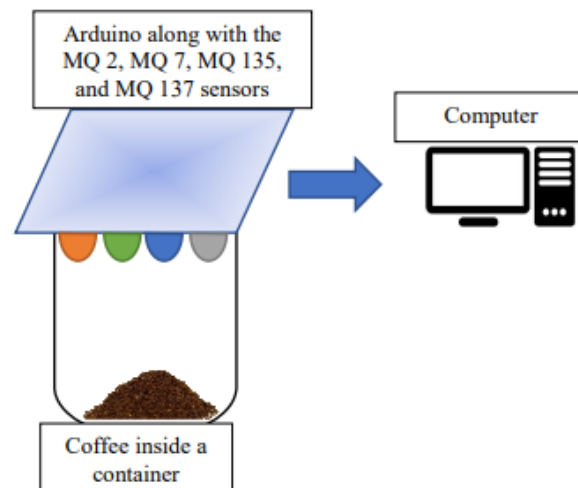


Figura 10. Diagrama del equipo propuesto por Aldwayne (2022) para la medición de cuatro variedades de café. Fuente: Aldwayne (2022)

Con estos antecedentes encontrados, se realizó un análisis comparativo en el uso de sensores electroquímicos resistivos, con base en la disponibilidad en el mercado, su adaptabilidad ante diferentes programas informáticos, y la detección que tienen ante diferentes sustancias que se les da en las pruebas realizadas.

Además, se realizó un análisis de los materiales y las formas de las cámaras de muestreo, para poder determinar el material basado en la facilidad de adquisición y de limpieza, así como la forma más fácil de limpiar y de construir.

La información sintetizada de estos prototipos que se han realizado se encuentra resumida en la Tabla 1

Tabla 1. Síntesis de antecedentes de cámaras de muestreo hechas desde el año 2015 hasta el año 2022.

Año	Autor	Detección	Respuesta
2015	Trirongjitmoah y col.	Aroma de diferentes especies de ajo	Determinación de los diferentes cultivos de ajo.
2016	Heredia y col.	Manzana y guanábana en descomposición, isopropanol y blanqueador, naranja y toronja, perfume y flores de jazmín, plátanos y piñas, eucalipto y naftalina, vainilla y maní, azufre y vinagre, azúcar y chocolate, hoja de té verde y pimienta	77.68%, para el azúcar y el chocolate, al 99.95%, para la manzana y guanábana en descomposición.
2017	Rahman y col.	Calidad de carne de puerco y de res a partir del desprendimiento de gases como el amoniaco, la acetona y el ácido sulfhídrico	Determinación de la calidad el 75% de las muestras de carne.
2018	Carbajal y col.	Acumulación de gas LP	Detecta una concentración media de gas LP en 1 minuto, y de una concentración alta de gas LP en 3 minutos
2018	Magfira y Sarno	Clasificación de granos de café tostado tipo Arábigo y Robusta	Precisión de detección del tostado de café de entre 57 al 71%
2020	Flórez y col.	Calidad de fermentación del cacao cosechado	Precisión del 97.8% al 93.8%
2021	Gudiño y col.	Monitoreo de la maduración de frutas mediante el uso de gas etileno producido por las mismas frutas.	Predicción de maduración de la fruta seleccionada
2021	Yazuver	Determinación de los parámetros de la calidad del pescado trucha arcoíris, besugo y lubina, en pequeñas y grandes cantidad	Determinación de la frescura del pescado analizado.
2022	Aldwayne y col.	Clasificación de cuatro variedades de granos de café molido: Arábigo, Robusta, Excelsa y Liberica	Identificación de las cuatro variedades de café, con una precisión del 100%

Planteamiento del problema

La determinación de componentes volátiles en diversos productos de origen alimentario permite determinar criterios de seguridad y calidad del producto, tales como: grado de madurez, composición o grado de procesamiento que cada uno de ellos tiene. Sin embargo, estas determinaciones suelen utilizar equipos costosos y técnicas complejas, lo que dificulta su utilización generalizada.

Justificación

El sistema de detección de volátiles propuesto permitirá la determinación de aplicabilidad de muestreo para poder caracterizar diversos productos alimentarios tales como etanol (cerveza), furanos y pizarinas (café de cafetera), limoneno (limón), así como, vainillina y etanol (saborizante de vainilla).

Hipótesis

El sistema de detección de volátiles propuesto, tendrán la capacidad de determinar la presencia de algunos compuestos de origen, tales como etanol (cerveza), furanos y pizarinas (café de cafetera), limoneno (limón), así como vainillina y etanol (saborizante de vainilla) de forma rápida, precisa y económica; y los datos posteriormente tratados estadísticamente podrán utilizarse para la cuantificación o determinación de propiedades de éstos.

Objetivos

Objetivo general

Determinar las capacidades de muestreo de un sistema de detección de volátiles equipado con ocho sensores electroquímicos para la caracterización de compuestos volátiles de origen alimentario y agroalimentario.

Objetivos específicos

1. Diseñar la metodología para las pruebas de determinación
2. Preparar y procesar muestras de diferentes productos objetivo, los registros de las diferentes detecciones realizadas para analizar los compuestos volátiles contenidos y comparándolos contra los valores de referencia.
3. Aplicar un análisis estadístico para conocer la precisión de los datos analizados en las pruebas con diferentes productos de interés

Capítulo II

Metodología

Metodología general

La metodología utilizada en esta investigación se dividió en tres etapas.

En la primera etapa, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica existente para identificar los sensores más apropiados para la detección de volátiles en alimentos. Se evaluaron diferentes tecnologías de sensores, incluyendo sensores de gases, sensores de conductividad y sensores ópticos, entre otros; y sí se eligieron los sensores adecuados para la cámara de detección.

Posteriormente, en la segunda etapa, se desarrolló un protocolo de preparación de muestras de los productos de interés, los cuales son café de cafetera, jugo de limón recién exprimido, saborizante de vainilla (Sayes), cerveza (Corona y Dos Equis) nueva y después de abierta para el análisis de volátiles. Este protocolo incluyó técnicas de extracción y muestreo que permitieron obtener muestras representativas de los volátiles presentes en los alimentos. Una vez preparadas las muestras, se procedió a la implementación del sistema de detección de volátiles utilizando los sensores seleccionados. Se llevaron a cabo experimentos de detección utilizando muestras de alimentos variados y se registraron los datos obtenidos por los sensores van desde 0 a 5 voltios de corriente directa (VDC).

Finalmente, en la tercera etapa, fueron procesados estadísticamente obteniendo media, mediana, moda, desviación estándar, varianza, valor máximo y valor mínimo para conocer la precisión de los valores y su porcentaje de error. Además de este procesamiento de datos, se realizó un análisis gráfico para poder identificar cada producto de interés analizado.

Estas etapas se pueden visualizar en la Figura 11.

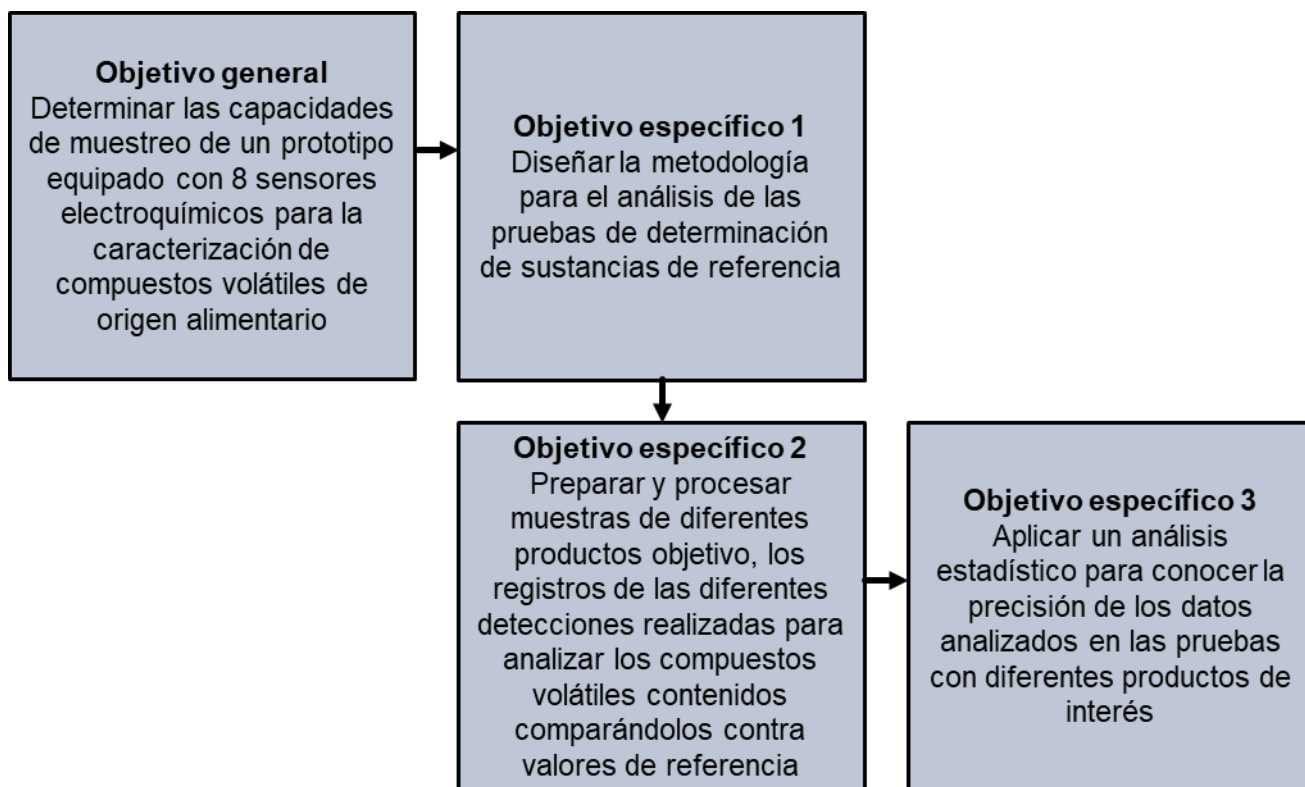


Figura 11. Metodología del objetivo general de este proyecto

Metodología del objetivo específico 1

En el primer objetivo se realizó una investigación exhaustiva de los tipos y marcas existentes de sensores (Trirongjitmoah (2015), Flórez (2020), Gudiño (2021)), de las geometrías de las cámaras de sensores más utilizadas en investigaciones pasadas (Carbajal (2018), Gudiño (2021)), así como las sustancias y los productos de interés más utilizadas (Heredia (2016), Gudiño (2021)) Gracias a esta investigación, los resultados encontrados son los siguientes:

Los sensores electroquímicos resistivos de gas, de tipo MQ de la marca Arduino, son los más utilizados debido a que son sensores económicos, fáciles de adquirir, adaptables para diferentes softwares y pueden detectar compuestos volátiles que emanan de los alimentos que se van a analizar.

La geometría más común que se utiliza para fabricar y evaluar cámaras de muestreo es el cilindro. Sin embargo, se ha elegido el cubo con cuatro puertas, debido a su fácil construcción y, además, con este diseño se puede realizar de manera fácil la limpieza de la cámara de muestreo, eliminando cualquier residuo de las esquinas que pueden comprometer las mediciones futuras.

El material más utilizado para construir cámaras de muestreo es el acrílico, debido a que es un material que no es poroso (por lo que no absorbe olores), es inerte ante diferentes sustancias químicas y tiene una temperatura de fusión de 160 °C (lo que lo vuelve seguro para las mediciones que requieran temperaturas de 70 °C).

Se propone la medición de café de cafetera, jugo de limón, saborizante de vainilla y cerveza, debido a la cantidad de aroma y compuestos volátiles que emana de ellos. Además, se propone el análisis de sustancias de referencia como aire, etanol y agua, para poder tener los valores de referencia iniciales del equipo.

A continuación, una vez realizado el análisis, se diseñó la cámara de muestreo con los sensores adquiridos para las sustancias propuestas, tanto las sustancias de referencia como las sustancias propuestas.

Enseguida, se diseñó una metodología para poder realizar las mediciones para las sustancias de referencia seleccionadas, las cuales son aire, agua y etanol. Esta metodología se divide en dos partes principales:

1. La preparación del equipo (antes, durante y posterior de la prueba)
2. La preparación de las muestras

✓ **Preparación del equipo**

Antes de utilizar por primera vez el equipo, es necesario dar un periodo de precalentamiento para todos los sensores electroquímicos de la familia MQ de 24 horas para la preparación y dopado de los sensores. Una vez realizado el precalentamiento de 24 horas, se puede utilizar el equipo con el siguiente procedimiento resumido del Anexo 4:

1. Conectar a la corriente de 120 voltios.
2. Encender el equipo de medición junto con el equipo de cómputo, y verificar que el equipo de medición esté conectado al equipo de cómputo.
3. Activar la rutina de medición para poder controlar el equipo de medición.
4. Ajustar el tiempo de precalentamiento y el tiempo de medición de los sensores, antes de realizar las determinaciones de las sustancias.
5. Permitir que el equipo realice las primeras lecturas durante el tiempo deseado para tener una línea de control.
6. Introducir la muestra a través de la puerta frontal del equipo de detección de volátiles, con una pequeña bandeja hecha con papel aluminio.
7. Permitir que el equipo realice las mediciones de las muestras durante el tiempo de medición deseado.
8. Retirar la muestra del equipo de detección de volátiles y se deja que el equipo se estabilice durante el tiempo de medición deseado.
9. Detener la rutina de medición para la recuperación de los datos obtenidos.
10. Extraer los datos obtenidos del equipo de cómputo.
11. Desconectar el equipo de medición de la corriente de 120 voltios.
12. Apagar el equipo de cómputo.
13. Desconectar el equipo de cómputo de la corriente de 120 voltios

El equipo puede aumentar de manera controlada y constante la temperatura hasta 100 °C

✓ Preparación de las muestras

Las muestras de referencia se dividen en aire y líquidos (agua y etanol).

Para el caso del aire, se enciende el equipo de medición y se realiza la medición durante el tiempo necesario. Para el caso de los líquidos (etanol de 70° y agua), se colocan 5 mL en una pequeña bandeja hecha con papel aluminio, con medidas de 4x3x2 cm al equipo de detección de volátiles a través de la puerta frontal del equipo de detección de volátiles. Una vez finalizada la prueba de medición se debe verificar que el equipo se encuentre seco. En la Figura 12 se describen los pasos antes mencionados para las pruebas.

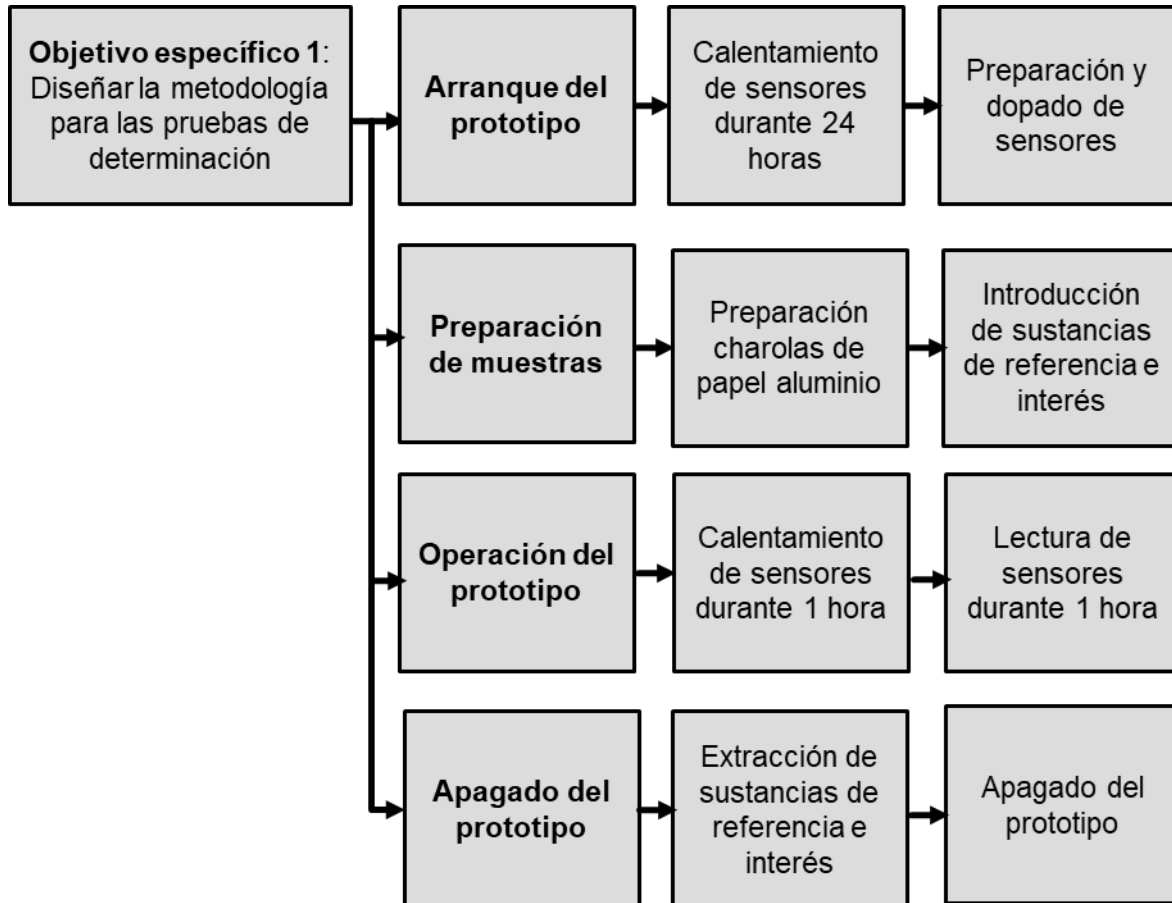


Figura 12. Metodología del objetivo específico 1

Metodología del objetivo específico 2

A continuación, se obtuvieron los registros en voltios de corriente directa (VDC) que van desde 0 hasta 5 voltios de corriente directa. Estos datos provienen de los sensores electroquímicos que son alimentados con un voltaje de 5 VDC, en donde las conexiones de salida reportan la información mediante la creación de archivos de datos. La interfaz está conformada por el equipo de medición y la placa Arduino; y a su vez está controlada por el software LabVIEW, el cual permite a un equipo de cómputo registrar las lecturas a través de datos provenientes de los sensores MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8 y MQ9. Estos datos pasan, en primer lugar, por el módulo "Serial Port" del programa LabVIEW, el cual permite la comunicación entre la computadora y la placa Arduino. A continuación, pasa por el módulo "LINK", que es un decodificador que funciona a 9600 baud (bits por segundo). Después, se conecta a ocho módulos "Analog Read 1 Chan", que permiten que la información de cada sensor sea obtenida de manera individual. Posteriormente encontramos los módulos "Write to Measurement File#" que permiten que las señales sean escritas y guardadas en formato ".csv", que son compatibles con el programa Microsoft Excel, se almacenan en una carpeta de archivos en el escritorio de la computadora. Se procedió a colocar los productos de interés dentro de la cámara de muestreo los cuales son café de cafetera, jugo de limón recién exprimido, saborizante de vainilla (Sayes), cerveza (Corona y Dos Equis) nueva y después de abierta y se le realizaron tres réplicas. El procedimiento se presenta en la Figura 13

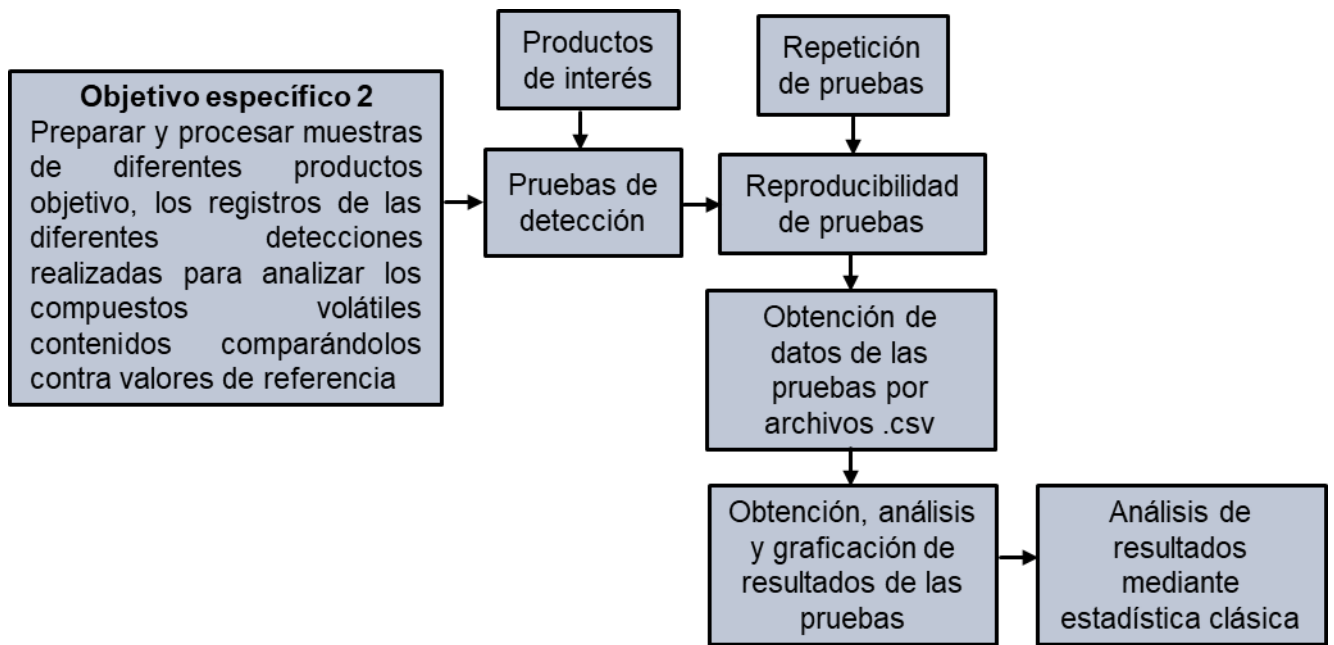


Figura 13. Metodología del objetivo específico 2

Metodología del objetivo específico 3

Para el tercer objetivo se realizó el análisis de datos de los productos alimenticios los cuales son café de cafetera, jugo de limón recién exprimido, saborizante de vainilla (Sayes), cerveza (Corona y Dos Equis) nueva y después de abierta, mediante la obtención de su análisis estadístico que implica la obtención de media, mediana, moda, desviación estándar, varianza, valor máximo y valor mínimo; para apreciar el comportamiento de los sensores ante los diferentes productos.

Además, se realizaron gráficas de los resultados obtenidos de los ocho sensores para cada muestra, las cuales tienen una forma similar a una campana de Gauss. Con las gráficas hechas, se buscó la zona más estable de cada gráfica y con esto se obtuvo el promedio de cada sensor, y así se obtiene el promedio de los promedios. Así se obtuvo el promedio y el porcentaje de error y se conocen tanto la sensibilidad, como la precisión de cada sensor y de cada sustancia. El desarrollo de este objetivo se puede reflejar en la Figura 14:

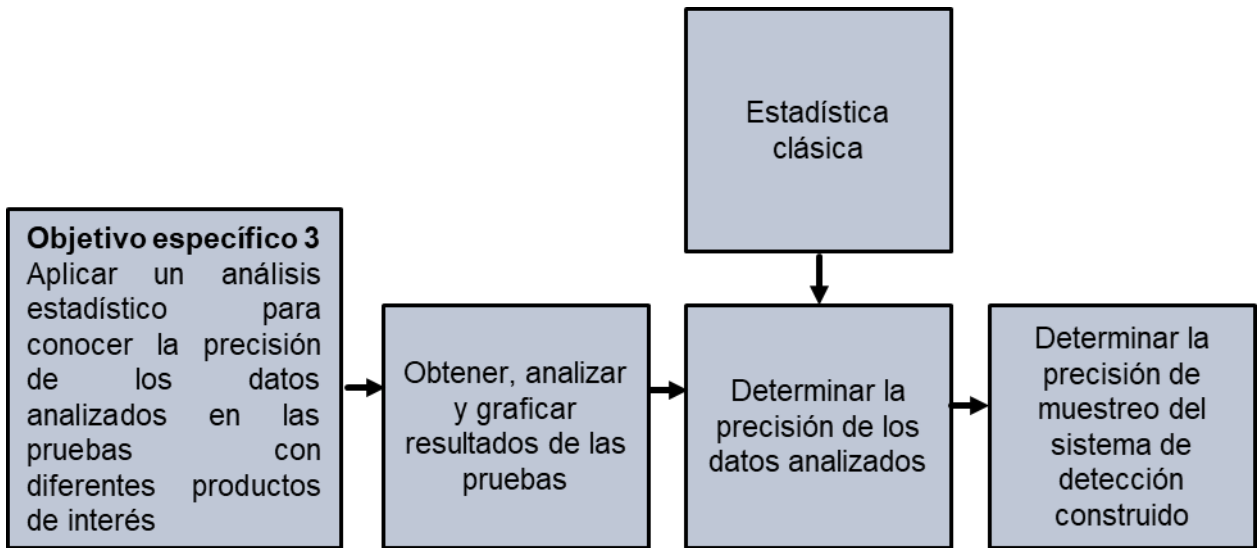


Figura 14. Metodología del objetivo específico 3

Resultados y Discusión

Resultados

Los resultados de los experimentos de detección demostraron la eficacia del sistema propuesto en la detección de volátiles en productos de origen alimentario de interés. Los sensores electroquímicos resistivos utilizados mostraron una respuesta sensible y selectiva a diferentes compuestos volátiles, sin embargo, no es posible hacer notar una diferencia entre diferentes compuestos volátiles presentes en un mismo producto.

Para el primer objetivo específico, se eligieron los sensores de gas electroquímicos resistivos, debido a que permiten la detección de componentes volátiles y permiten observar la interacción entre los componentes volátiles y los sensores a través de la diferencia de voltaje que ocurre dentro del sensor. A continuación, se realizó un análisis de sensores con base en la disponibilidad, la adaptabilidad ante diferentes programas informáticos, el voltaje que utilizan, el nivel de oxígeno requerido para su funcionamiento y el uso que se les da en las pruebas realizadas. Con esta revisión, se seleccionaron los sensores electroquímicos resistivos Arduino MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8 y MQ9, debido a que puede detectar diferentes sustancias de estructura química básica, como, el etanol, el hidrógeno, el dióxido de carbono, entre otros más simples. Además, funcionan con un voltaje bajo de 5 voltios y un porcentaje de nivel de oxígeno del 19 al 21 por ciento (el cual corresponde al nivel de oxígeno del aire que respiramos). Finalmente, se le colocó una placa Peltier de 4.5 x 4.5 cm para poder calentar y volatilizar, en caso de ser necesario, las sustancias a analizar.

En la Tabla 2 se muestran las características principales de cada sensor, el rango de detección de las sustancias que puede detectar y la temperatura de funcionamiento de estos sensores.

Tabla 2. Características principales, rangos de detección y temperatura de funcionamiento de los sensores electroquímicos elegidos.

Sensor	Características	Rango de detección de sustancias detectadas	Temperatura de funcionamiento
MQ2	<ul style="list-style-type: none"> * Amplio alcance de detección * Respuesta rápida y alta sensibilidad. * Vida estable y larga * Circuito de accionamiento simple 	200ppm-5000ppm Gas licuado de petróleo y propano 300ppm-5000ppm Butano 5000ppm-20000ppm Metano 300ppm-5000ppm Hidrógeno 100ppm-2000ppm Alcohol	-20°C - 50°C
MQ3	<ul style="list-style-type: none"> * Alta sensibilidad al alcohol y poca sensibilidad a la bencina. * Respuesta rápida y alta sensibilidad * Vida estable y larga * Circuito de accionamiento simple 	0.05mg/L - 10mg/L Alcohol	-10°C - 50°C
MQ4	<ul style="list-style-type: none"> * Alta sensibilidad al metano y al gas natural. * Pequeña sensibilidad al alcohol, humo. * Respuesta rápida * Vida estable y larga * Circuito de accionamiento simple 	200-10000ppm Metano y gas natural	-10°C - 50°C
MQ5	<ul style="list-style-type: none"> * Alta sensibilidad a gas licuado de petróleo, gas natural * Pequeña sensibilidad al alcohol, humo. * Respuesta rápida * Vida estable y larga * Circuito de accionamiento simple 	200-10000ppm Gas licuado de petróleo, gas natural licuado, gas natural, isobutano, propano	-10°C - 50°C

Fuente: propia

Tabla 2: Características principales, rangos de detección y temperatura de funcionamiento de los sensores electroquímicos elegidos (final)

Sensor	Características	Rango de detección de sustancias detectadas	Temperatura de funcionamiento
MQ6	<ul style="list-style-type: none"> * Alta sensibilidad a gas licuado de petróleo, isobutano, propano * Pequeña sensibilidad al alcohol y al humo. * Respuesta rápida * Vida estable y larga * Circuito de accionamiento simple 	200-10000ppm Gas licuado de petróleo, isobutano, propano, gas natural licuado	-10°C - 50°C
MQ7	<ul style="list-style-type: none"> * Alta sensibilidad al monóxido de carbono * Vida estable y larga 	20ppm-2000ppm Monóxido de carbono	-20°C - 50°C
MQ8	<ul style="list-style-type: none"> * Alta sensibilidad al hidrógeno * Pequeña sensibilidad al alcohol, gas licuado de petróleo, humos de cocina * Vida estable y larga 	100-10000ppm Hidrógeno	-10°C - 50°C
MQ9	<ul style="list-style-type: none"> * Alta sensibilidad al monóxido de carbono, metano y gas licuado de petróleo * Vida estable y larga 	20ppm-2000ppm Monóxido de carbono 500ppm-10000ppm Metano 500ppm-10000ppm Gas licuado de petróleo	-20°C - 50°C

Fuente: propia

Se realizaron las mediciones de sustancias de referencia, siguiendo el instructivo del Anexo 4, las cuales son etanol, agua y aire:

1. Para el caso del etanol, las pruebas de detección se realizaron con temperatura ambiente de 25°C y temperatura al interior del equipo de detección de volátiles de 70°C, la cual es alcanzada con la ayuda de la placa Peltier. Se midió esta sustancia para poder conocer los valores máximos de los sensores y confirmarlos con las hojas de datos de cada sensor.
2. Para el caso del agua, las pruebas de detección se realizaron con temperatura ambiente de 25°C y temperatura al interior del equipo de detección de volátiles de 30°C. Se midió esta sustancia para poder conocer la resistencia real de los sensores ante la humedad.
3. Para el caso del aire, las pruebas de detección se realizaron con una temperatura ambiente de 25°C, temperatura al interior del equipo de detección de volátiles de 30°C y sin humedad ambiental. Se midió esta sustancia para poder obtener los valores de referencia de los sensores.

Una vez realizadas las mediciones de las tres sustancias de referencia, se procedió a recuperar los datos de cada prueba, los cuales se muestran de manera resumida en las siguientes tablas:

En la Tabla 3 se muestran los datos resumidos para el etanol.

En la Tabla 4 se muestran los datos resumidos para el agua.

En la Tabla 5 se muestran los datos resumidos para el aire.

Para el segundo objetivo específico se midieron las sustancias de interés, las cuales son café de cafetera, jugo de limón recién exprimido, saborizante de vainilla (Sayes), cerveza (Corona y Dos Equis) nueva y después de abierta.

Estas sustancias fueron elegidas para poder comprobar la eficacia de la cámara de muestreo ante los olores fuertes, por lo que se colocaron en la cámara de muestreo, utilizando el instructivo del Anexo 5.

Una vez realizadas las mediciones de las sustancias de interés se procedió a recuperar los datos de cada prueba, los cuales se muestran de manera resumida en las siguientes tablas:

En la Tabla 6 para el caso de la cerveza Corona nueva.

En la Tabla 7 para el caso de la cerveza Dos Equis nueva.

En la Tabla 8 para el caso de la cerveza Corona abierta.

En la Tabla 9 para el caso de la cerveza Dos Equis abierta.

En la Tabla 10 para el caso del café de cafetera.

En la Tabla 11 para el caso del limón.

En la Tabla 12 para el caso del saborizante de vainilla.

Tabla 3. Datos resumidos de la medición de valores realizada al etanol.

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	04/07/2022 10:30:11.415	0.439453	0.727539	1.162109	1.020508	0.219727	0.170898	0.634766	0.195312
2	04/07/2022 10:30:19.199	0.444336	0.717773	1.147461	1.010742	0.219727	0.15625	0.644531	0.200195
3	04/07/2022 10:30:26.934	0.444336	0.737305	1.176758	1.005859	0.229492	0.161133	0.649414	0.200195
4	04/07/2022 10:30:34.668	0.444336	0.732422	1.157227	1.005859	0.224609	0.166016	0.639648	0.200195
5	04/07/2022 10:30:42.440	0.43457	0.737305	1.171875	0.996094	0.219727	0.161133	0.605469	0.200195
6	04/07/2022 10:40:59.950	2.69043	3.686523	3.017578	1.137695	0.249023	1.186523	1.015625	0.932617
7	04/07/2022 10:41:07.739	2.768555	3.833008	3.78418	1.225586	0.283203	1.635742	1.328125	1.274414
8	04/07/2022 10:41:15.587	2.84668	3.959961	4.213867	1.293945	0.322266	1.835937	1.630859	1.40625
9	04/07/2022 10:41:23.425	2.929687	4.0625	4.453125	1.367187	0.380859	2.011719	1.84082	1.450195
10	04/07/2022 10:41:31.286	3.017578	4.150391	4.516602	1.445312	0.439453	2.128906	1.918945	1.459961
11	04/07/2022 10:50:31.547	2.592773	4.116211	3.427734	1.987305	0.668945	1.44043	1.860352	1.352539
12	04/07/2022 10:50:39.441	1.796875	3.657227	3.47168	1.694336	0.405273	0.678711	1.25	0.585937
13	04/07/2022 10:50:47.295	1.757812	3.164062	3.647461	1.669922	0.375977	0.585937	1.166992	0.498047
14	04/07/2022 10:50:55.033	0.878906	2.724609	3.47168	1.640625	0.351562	0.390625	1.074219	0.361328
15	04/07/2022 10:51:02.870	0.864258	2.407227	3.432617	1.625977	0.351562	0.356445	1.049805	0.336914
16	04/07/2022 11:05:19.909	0.454102	1.328125	1.625977	1.206055	0.268555	0.19043	0.74707	0.219727
17	04/07/2022 11:05:27.781	0.444336	1.347656	1.665039	1.206055	0.263672	0.180664	0.756836	0.224609
18	04/07/2022 11:05:35.664	0.458984	1.367187	1.616211	1.201172	0.258789	0.185547	0.751953	0.219727
19	04/07/2022 11:05:43.812	0.449219	1.337891	1.630859	1.196289	0.258789	0.175781	0.756836	0.219727
20	04/07/2022 11:05:51.687	0.449219	1.328125	1.606445	1.196289	0.263672	0.170898	0.751953	0.229492

Tabla 4. Datos resumidos de la medición de valores realizada al agua.

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	07/12/2022 13:11:25.853	0.8252	1.328125	0.844727	1.459961	0.224609	0.219727	0.932617	0.419922
2	07/12/2022 13:11:33.564	0.81543	1.293945	0.830078	1.44043	0.219727	0.224609	0.913086	0.410156
3	07/12/2022 13:11:41.314	0.80566	1.289062	0.834961	1.430664	0.219727	0.214844	0.908203	0.405273
4	07/12/2022 13:11:48.894	0.81055	1.298828	0.81543	1.430664	0.214844	0.209961	0.90332	0.410156
5	07/12/2022 13:11:56.566	0.80566	1.293945	0.81543	1.430664	0.214844	0.209961	0.90332	0.400391
6	07/12/2022 13:12:04.223	0.80566	1.303711	0.810547	1.430664	0.219727	0.209961	0.908203	0.410156
7	07/12/2022 13:12:12.019	0.80078	1.303711	0.854492	1.430664	0.219727	0.214844	0.90332	0.405273
8	07/12/2022 13:12:19.645	0.80566	1.28418	0.805664	1.420898	0.209961	0.205078	0.898437	0.400391
9	07/12/2022 13:14:07.336	0.82031	1.391602	0.825195	1.464844	0.229492	0.214844	0.932617	0.415039
10	07/12/2022 13:14:15.230	0.8252	1.401367	0.81543	1.474609	0.234375	0.219727	0.942383	0.415039
11	07/12/2022 13:14:24.165	0.8252	1.40625	0.834961	1.474609	0.229492	0.219727	0.947266	0.415039
12	07/12/2022 13:14:32.522	0.8252	1.416016	0.854492	1.484375	0.234375	0.219727	0.942383	0.419922
13	07/12/2022 13:14:40.441	0.8252	1.420898	0.820312	1.479492	0.229492	0.224609	0.952148	0.415039
14	07/12/2022 13:14:48.392	0.8252	1.420898	0.81543	1.484375	0.229492	0.224609	0.952148	0.419922
15	07/12/2022 13:14:56.318	0.83496	1.430664	0.825195	1.489258	0.234375	0.224609	0.952148	0.419922
16	07/12/2022 13:18:05.616	0.85938	1.499023	0.859375	1.533203	0.244141	0.244141	0.986328	0.429687
17	07/12/2022 13:29:44.847	0.7959	1.254883	0.708008	1.396484	0.209961	0.205078	0.878906	0.385742
18	07/12/2022 13:29:52.812	0.79102	1.254883	0.708008	1.391602	0.209961	0.205078	0.878906	0.385742
19	07/12/2022 13:30:00.665	0.7959	1.254883	0.703125	1.391602	0.205078	0.205078	0.878906	0.380859
20	07/12/2022 13:30:08.472	0.80078	1.25	0.703125	1.391602	0.205078	0.205078	0.878906	0.380859

Tabla 5. Datos resumidos de la medición de valores realizada en el aire

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	05/07/2022 11:14:26.350	0.639648	1.049805	1.40625	1.010742	0.126953	0.112305	0.732422	0.239258
2	05/07/2022 11:14:34.042	0.649414	1.040039	1.445312	1.010742	0.15625	0.166016	0.708008	0.219727
3	05/07/2022 11:14:41.624	0.634766	1.040039	1.386719	0.986328	0.15625	0.151367	0.717773	0.200195
4	05/07/2022 11:14:49.338	0.629883	1.05957	1.430664	1.015625	0.126953	0.141602	0.678711	0.209961
5	05/07/2022 11:14:56.962	0.639648	1.044922	1.420898	1.015625	0.180664	0.170898	0.683594	0.205078
6	05/07/2022 11:15:04.713	0.634766	1.025391	1.416016	0.996094	0.146484	0.151367	0.717773	0.205078
7	05/07/2022 11:15:12.365	0.668945	1.030273	1.37207	1.040039	0.166016	0.180664	0.664062	0.234375
8	05/07/2022 11:19:53.271	0.625	1.025391	1.416016	0.996094	0.15625	0.180664	0.693359	0.200195
9	05/07/2022 11:20:01.088	0.625	1.054687	1.40625	1.005859	0.166016	0.166016	0.698242	0.219727
10	05/07/2022 11:20:08.926	0.644531	1.035156	1.425781	1.000977	0.15625	0.200195	0.688477	0.214844
11	05/07/2022 11:20:16.721	0.644531	1.025391	1.376953	1.015625	0.131836	0.180664	0.732422	0.214844
12	05/07/2022 11:20:24.746	0.610352	1.035156	1.416016	1.020508	0.166016	0.185547	0.664062	0.234375
13	05/07/2022 11:20:32.571	0.620117	1.020508	1.435547	1.010742	0.131836	0.185547	0.712891	0.19043
14	05/07/2022 11:20:40.420	0.585937	1.040039	1.396484	0.976562	0.175781	0.166016	0.693359	0.244141
15	05/07/2022 11:23:09.202	0.625	1.044922	1.401367	1.025391	0.175781	0.170898	0.717773	0.219727
16	05/07/2022 11:23:55.973	0.664062	1.000977	1.430664	1.005859	0.136719	0.185547	0.698242	0.214844
17	05/07/2022 11:24:35.121	0.610352	1.035156	1.401367	1.010742	0.175781	0.15625	0.717773	0.214844
18	05/07/2022 11:24:43.022	0.615234	1.044922	1.401367	1.010742	0.15625	0.166016	0.688477	0.224609
19	05/07/2022 11:24:50.930	0.629883	1.044922	1.381836	0.996094	0.141602	0.146484	0.708008	0.209961
20	05/07/2022 11:24:58.808	0.634766	1.035156	1.401367	1.015625	0.175781	0.151367	0.717773	0.209961

Tabla 6. Datos resumidos de la medición de valores realizada a la cerveza Corona nueva

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	29/06/2022 12:01:50.161	0.673828	1.459961	2.470703	1.05957	0.131836	0.244141	0.717773	0.288086
2	29/06/2022 12:01:57.918	0.683594	1.459961	2.446289	1.069336	0.126953	0.244141	0.712891	0.283203
3	29/06/2022 12:02:05.898	0.673828	1.450195	2.441406	1.069336	0.126953	0.249023	0.717773	0.283203
4	29/06/2022 12:02:13.809	0.673828	1.44043	2.436523	1.069336	0.136719	0.249023	0.722656	0.283203
5	29/06/2022 12:02:21.552	1.079102	1.508789	2.387695	1.05957	0.131836	0.253906	0.722656	0.283203
6	29/06/2022 12:02:29.343	2.373047	3.769531	3.779297	1.386719	0.229492	1.499023	1.37207	1.079102
7	29/06/2022 12:02:37.193	2.402344	3.813477	3.891602	1.430664	0.244141	1.508789	1.411133	1.074219
8	29/06/2022 12:02:45.153	2.431641	3.862305	3.979492	1.464844	0.258789	1.523437	1.44043	1.079102
9	29/06/2022 12:02:53.034	2.451172	3.891602	4.0625	1.508789	0.273437	1.547852	1.459961	1.088867
10	29/06/2022 12:03:00.901	2.460937	3.916016	4.140625	1.533203	0.292969	1.552734	1.494141	1.108398
11	29/06/2022 12:07:28.095	2.636719	4.086914	4.555664	1.899414	0.419922	1.68457	1.75293	1.264648
12	29/06/2022 12:07:35.887	2.646484	4.082031	4.594727	1.90918	0.405273	1.689453	1.75293	1.264648
13	29/06/2022 12:07:43.695	2.646484	4.082031	4.555664	1.918945	0.410156	1.68457	1.762695	1.269531
14	29/06/2022 12:07:51.470	2.646484	4.082031	4.555664	1.914062	0.405273	1.694336	1.762695	1.269531
15	29/06/2022 12:07:59.394	2.651367	4.086914	4.560547	1.928711	0.410156	1.689453	1.772461	1.274414
16	29/06/2022 12:25:30.054	0.551758	1.206055	2.001953	1.318359	0.151367	0.205078	0.795898	0.244141
17	29/06/2022 12:25:37.981	0.546875	1.157227	1.904297	1.318359	0.151367	0.205078	0.805664	0.253906
18	29/06/2022 12:25:45.901	0.541992	1.12793	1.855469	1.318359	0.146484	0.209961	0.795898	0.239258
19	29/06/2022 12:25:53.745	0.541992	1.206055	1.816406	1.308594	0.151367	0.200195	0.795898	0.244141
20	29/06/2022 12:26:01.567	0.541992	1.235352	1.821289	1.362305	0.146484	0.209961	0.800781	0.258789

Tabla 7. Datos resumidos de la medición de valores realizada a la cerveza Dos Equis nueva

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	30/06/2022 13:00:09.104	0.444336	1.083984	0.966797	1.040039	0.141602	0.175781	0.678711	0.209961
2	30/06/2022 13:00:17.042	0.454102	1.103516	0.9375	1.035156	0.131836	0.15625	0.65918	0.219727
3	30/06/2022 13:00:24.920	0.463867	1.103516	0.932617	1.040039	0.136719	0.166016	0.673828	0.219727
4	30/06/2022 13:00:32.806	0.439453	1.118164	0.908203	1.040039	0.136719	0.170898	0.664062	0.224609
5	30/06/2022 13:00:40.606	0.507812	1.235352	0.893555	1.035156	0.146484	0.175781	0.668945	0.214844
6	30/06/2022 13:01:27.590	1.889648	3.544922	3.095703	1.166992	0.170898	0.634766	1.064453	0.605469
7	30/06/2022 13:01:35.402	1.962891	3.583984	3.24707	1.191406	0.15625	0.683594	1.064453	0.610352
8	30/06/2022 13:01:43.247	2.041016	3.642578	3.359375	1.206055	0.185547	0.751953	1.079102	0.639648
9	30/06/2022 13:01:51.076	2.084961	3.662109	3.466797	1.230469	0.185547	0.78125	1.103516	0.644531
10	30/06/2022 13:01:58.905	2.143555	3.681641	3.554687	1.245117	0.180664	0.830078	1.108398	0.664062
11	30/06/2022 13:12:09.723	2.705078	4.003906	4.394531	1.728516	0.327148	1.533203	1.591797	1.088867
12	30/06/2022 13:12:17.469	2.714844	4.018555	4.399414	1.723633	0.327148	1.533203	1.591797	1.088867
13	30/06/2022 13:12:25.361	2.714844	4.003906	4.394531	1.728516	0.332031	1.538086	1.586914	1.098633
14	30/06/2022 13:12:33.194	2.714844	4.018555	4.40918	1.728516	0.327148	1.542969	1.591797	1.123047
15	30/06/2022 13:12:41.001	2.719727	4.008789	4.423828	1.738281	0.332031	1.552734	1.601562	1.09375
16	30/06/2022 13:18:01.608	0.522461	1.411133	2.275391	1.254883	0.136719	0.224609	0.820312	0.249023
17	30/06/2022 13:18:09.424	0.517578	1.376953	2.104492	1.25	0.126953	0.205078	0.820312	0.244141
18	30/06/2022 13:18:17.159	0.512695	1.352539	2.006836	1.235352	0.131836	0.205078	0.800781	0.249023
19	30/06/2022 13:18:24.999	0.498047	1.308594	1.855469	1.220703	0.131836	0.205078	0.791016	0.234375
20	30/06/2022 13:18:32.779	0.493164	1.293945	1.772461	1.210937	0.12207	0.195312	0.786133	0.244141

Tabla 8. Datos resumidos de la medición de valores realizada a la cerveza Corona abierta

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	30/06/2022 10:59:42.084	0.493164	0.874023	0.649414	1.025391	0.131836	0.170898	0.649414	0.229492
2	30/06/2022 10:59:49.807	0.498047	0.869141	0.65918	1.035156	0.141602	0.180664	0.65918	0.219727
3	30/06/2022 10:59:57.725	0.498047	0.874023	0.649414	1.020508	0.131836	0.175781	0.65918	0.219727
4	30/06/2022 11:00:05.471	0.498047	0.874023	0.654297	1.005859	0.126953	0.175781	0.65918	0.214844
5	30/06/2022 11:00:13.173	0.732422	1.142578	0.673828	1.020508	0.136719	0.166016	0.664062	0.219727
6	30/06/2022 11:01:15.471	2.553711	3.950195	3.852539	1.416016	0.253906	1.337891	1.293945	0.952148
7	30/06/2022 11:01:23.291	2.558594	3.959961	3.935547	1.44043	0.258789	1.37207	1.37207	0.996094
8	30/06/2022 11:01:31.194	2.573242	3.959961	4.018555	1.469727	0.27832	1.381836	1.416016	1.015625
9	30/06/2022 11:01:38.969	2.592773	3.979492	4.0625	1.489258	0.288086	1.396484	1.450195	1.030273
10	30/06/2022 11:01:46.761	2.607422	3.984375	4.09668	1.508789	0.292969	1.40625	1.469727	1.054687
11	30/06/2022 11:05:10.405	2.729492	4.033203	4.306641	1.772461	0.356445	1.582031	1.689453	1.186523
12	30/06/2022 11:05:18.357	2.724609	4.033203	4.296875	1.777344	0.361328	1.572266	1.694336	1.191406
13	30/06/2022 11:05:26.292	2.724609	4.02832	4.282227	1.777344	0.356445	1.586914	1.699219	1.186523
14	30/06/2022 11:05:34.063	2.714844	4.02832	4.296875	1.787109	0.356445	1.572266	1.704102	1.196289
15	30/06/2022 11:05:41.847	2.758789	4.042969	4.301758	1.791992	0.385742	1.586914	1.708984	1.196289
16	30/06/2022 11:11:42.347	0.761719	1.938477	2.070312	1.469727	0.200195	0.322266	1.025391	0.327148
17	30/06/2022 11:11:50.176	0.683594	1.801758	1.699219	1.425781	0.19043	0.27832	0.991211	0.317383
18	30/06/2022 11:11:57.857	0.629883	1.621094	1.455078	1.411133	0.19043	0.263672	0.957031	0.292969
19	30/06/2022 11:12:05.538	0.595703	1.518555	1.274414	1.386719	0.166016	0.249023	0.922852	0.283203
20	30/06/2022 11:12:13.277	0.581055	1.455078	1.191406	1.376953	0.166016	0.244141	0.927734	0.27832

Tabla 9. Datos resumidos de la medición de valores realizada a la cerveza Dos Equis abierta

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	12/08/2022 11:32:51.781	0.537109	1.035156	0.966797	1.059570	0.117187	0.151367	0.839844	0.239258
2	12/08/2022 11:32:59.563	0.541992	1.040039	0.971680	1.059570	0.107422	0.151367	0.888672	0.234375
3	12/08/2022 11:33:07.208	0.537109	1.040039	0.981445	1.064453	0.117187	0.151367	0.888672	0.239258
4	12/08/2022 11:33:15.036	0.537109	1.040039	0.981445	1.059570	0.112305	0.151367	0.898437	0.239258
5	12/08/2022 11:33:22.756	0.541992	1.069336	0.986328	1.064453	0.112305	0.151367	1.137695	0.239258
6	12/08/2022 11:34:01.673	1.020508	1.816406	2.265625	1.088867	0.126953	0.268555	1.127930	0.483398
7	12/08/2022 11:34:09.407	1.162109	1.928711	2.485352	1.093750	0.131836	0.341797	1.186523	0.522461
8	12/08/2022 11:34:17.039	1.289062	2.045898	2.685547	1.103516	0.136719	0.424805	1.230469	0.566406
9	12/08/2022 11:34:24.770	1.391602	2.148437	2.846680	1.118164	0.141602	0.507812	1.274414	0.615234
10	12/08/2022 11:34:32.558	1.469727	2.241211	2.978516	1.123047	0.151367	0.581055	1.323242	0.664062
11	12/08/2022 11:36:05.768	1.845703	2.758789	3.579102	1.303711	0.239258	1.005859	1.870117	0.922852
12	12/08/2022 11:36:13.597	1.860352	2.783203	3.593750	1.323242	0.244141	1.030273	1.909180	0.927734
13	12/08/2022 11:36:21.332	1.879883	2.807617	3.618164	1.333008	0.253906	1.044922	1.948242	0.937500
14	12/08/2022 11:36:29.115	1.894531	2.827148	3.627930	1.347656	0.268555	1.064453	1.982422	0.947266
15	12/08/2022 11:36:36.919	1.875000	2.846680	3.642578	1.362305	0.278320	1.074219	1.855469	0.942383
16	12/08/2022 11:48:35.986	0.566406	0.883789	1.186523	1.142578	0.146484	0.131836	0.957031	0.229492
17	12/08/2022 11:48:43.913	0.566406	0.874023	1.186523	1.142578	0.146484	0.131836	0.922852	0.229492
18	12/08/2022 11:48:51.705	0.571289	0.883789	1.181641	1.137695	0.146484	0.131836	0.952148	0.234375
19	12/08/2022 11:48:59.423	0.571289	0.878906	1.176758	1.142578	0.146484	0.131836	0.937500	0.229492
20	12/08/2022 11:49:07.289	0.571289	0.874023	1.166992	1.137695	0.146484	0.131836	0.952148	0.234375

Tabla 10. Datos resumidos de la medición de valores realizada al café de cafetera

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	07/07/2022 11:45:52.284	0.649414	0.791016	1.821289	1.088867	0.292969	0.19043	0.74707	0.214844
2	07/07/2022 11:45:59.978	0.654297	0.795898	1.826172	1.074219	0.297852	0.185547	0.737305	0.209961
3	07/07/2022 11:46:07.638	0.654297	0.786133	1.850586	1.088867	0.302734	0.180664	0.737305	0.209961
4	07/07/2022 11:46:15.520	0.678711	0.791016	1.831055	1.088867	0.3125	0.185547	0.737305	0.209961
5	07/07/2022 11:46:23.172	0.683594	0.791016	1.811523	1.088867	0.307617	0.180664	0.722656	0.200195
6	07/07/2022 11:56:09.062	0.512695	1.000977	1.904297	1.064453	0.117187	0.180664	0.722656	0.200195
7	07/07/2022 11:56:16.898	0.522461	1.030273	1.850586	1.064453	0.12207	0.180664	0.712891	0.214844
8	07/07/2022 11:56:24.733	0.498047	1.064453	1.870117	1.054687	0.117187	0.180664	0.722656	0.214844
9	07/07/2022 11:56:32.621	0.532227	1.09375	1.875	1.054687	0.117187	0.185547	0.708008	0.214844
10	07/07/2022 11:56:40.459	0.537109	1.123047	1.884766	1.049805	0.12207	0.185547	0.717773	0.219727
11	07/07/2022 12:04:07.323	0.722656	1.806641	1.757812	0.917969	0.107422	0.224609	0.698242	0.244141
12	07/07/2022 12:04:15.123	0.727539	1.811523	1.743164	0.913086	0.117187	0.224609	0.693359	0.249023
13	07/07/2022 12:04:22.956	0.727539	1.811523	1.767578	0.908203	0.117187	0.224609	0.693359	0.249023
14	07/07/2022 12:04:30.782	0.722656	1.806641	1.777344	0.913086	0.112305	0.219727	0.698242	0.244141
15	07/07/2022 12:04:38.671	0.727539	1.811523	1.762695	0.898437	0.112305	0.219727	0.698242	0.249023
16	07/07/2022 12:07:39.554	0.698242	0.996094	1.821289	1.005859	0.151367	0.180664	0.717773	0.209961
17	07/07/2022 12:07:47.396	0.712891	0.976562	1.84082	1.000977	0.146484	0.175781	0.717773	0.209961
18	07/07/2022 12:07:55.195	0.664062	0.966797	1.894531	1.005859	0.151367	0.175781	0.712891	0.205078
19	07/07/2022 12:08:03.049	0.673828	0.947266	1.850586	1.010742	0.15625	0.161133	0.722656	0.209961
20	07/07/2022 12:08:11.028	0.678711	0.932617	1.855469	1.005859	0.146484	0.166016	0.717773	0.200195

Tabla 11. Datos resumidos de la medición de valores realizada al jugo de limón

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	06/07/2022 13:11:46.884	0.478516	0.795898	1.743164	0.996094	0.126953	0.161133	0.717773	0.180664
2	06/07/2022 13:11:54.167	0.483398	0.800781	1.787109	1.000977	0.126953	0.166016	0.722656	0.175781
3	06/07/2022 13:12:01.988	0.483398	0.800781	1.772461	1.000977	0.12207	0.15625	0.737305	0.175781
4	06/07/2022 13:12:09.771	0.478516	0.791016	1.75293	1.000977	0.12207	0.151367	0.717773	0.180664
5	06/07/2022 13:12:17.485	0.478516	0.800781	1.767578	1.000977	0.131836	0.161133	0.717773	0.175781
6	06/07/2022 13:28:27.217	0.50293	1.645508	1.850586	0.976562	0.19043	0.19043	0.708008	0.209961
7	06/07/2022 13:28:35.050	0.50293	1.660156	1.958008	0.976562	0.19043	0.19043	0.708008	0.214844
8	06/07/2022 13:28:42.728	0.512695	1.679687	1.835937	0.961914	0.19043	0.19043	0.708008	0.209961
9	06/07/2022 13:28:50.424	0.512695	1.68457	1.904297	0.976562	0.166016	0.195312	0.703125	0.209961
10	06/07/2022 13:28:58.299	0.512695	1.699219	1.899414	0.97168	0.19043	0.19043	0.708008	0.200195
11	06/07/2022 13:35:43.985	0.600586	2.036133	1.923828	0.991211	0.185547	0.214844	0.737305	0.229492
12	06/07/2022 13:35:51.776	0.600586	2.041016	1.967773	0.996094	0.19043	0.214844	0.737305	0.229492
13	06/07/2022 13:35:59.532	0.605469	2.041016	1.933594	0.986328	0.185547	0.219727	0.737305	0.234375
14	06/07/2022 13:36:07.286	0.605469	2.045898	1.938477	0.991211	0.185547	0.214844	0.732422	0.234375
15	06/07/2022 13:36:15.169	0.610352	2.050781	1.992187	0.981445	0.19043	0.214844	0.722656	0.234375
16	06/07/2022 13:39:46.257	0.449219	0.996094	1.870117	0.981445	0.117187	0.166016	0.693359	0.185547
17	06/07/2022 13:39:54.088	0.458984	0.986328	1.894531	0.986328	0.126953	0.161133	0.703125	0.19043
18	06/07/2022 13:40:01.980	0.463867	0.986328	1.870117	0.986328	0.12207	0.170898	0.693359	0.185547
19	06/07/2022 13:40:09.725	0.458984	0.97168	1.889648	0.981445	0.126953	0.161133	0.698242	0.180664
20	06/07/2022 13:40:17.600	0.458984	0.966797	1.879883	0.991211	0.12207	0.166016	0.698242	0.175781

Tabla 12. Datos resumidos de la medición de valores realizada al saborizante de vainilla

#	Time	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9
1	06/07/2022 10:29:22.507	0.688477	0.966797	1.762695	1.015625	0.131836	0.195312	0.717773	0.229492
2	06/07/2022 10:29:30.298	0.698242	0.97168	1.75293	1.030273	0.131836	0.19043	0.688477	0.224609
3	06/07/2022 10:29:37.960	0.698242	0.966797	1.723633	1.030273	0.126953	0.185547	0.712891	0.224609
4	06/07/2022 10:29:45.645	0.698242	0.966797	1.791992	1.025391	0.12207	0.19043	0.708008	0.224609
5	06/07/2022 10:29:53.202	0.693359	0.966797	1.767578	1.025391	0.131836	0.19043	0.722656	0.224609
6	06/07/2022 10:45:28.983	1.733398	2.651367	2.319336	1.074219	0.136719	0.532227	0.805664	0.327148
7	06/07/2022 10:45:36.712	2.104492	3.178711	2.53418	1.118164	0.151367	0.776367	0.90332	0.356445
8	06/07/2022 10:45:44.427	2.192383	3.261719	2.65625	1.132812	0.161133	0.849609	0.932617	0.410156
9	06/07/2022 10:45:52.263	2.226562	3.300781	2.783203	1.181641	0.15625	0.90332	0.991211	0.454102
10	06/07/2022 10:45:59.904	2.270508	3.334961	2.924805	1.206055	0.161133	0.957031	1.040039	0.527344
11	06/07/2022 10:55:35.990	2.763672	3.94043	4.321289	1.75293	0.317383	1.518555	1.689453	1.030273
12	06/07/2022 10:55:43.774	2.758789	3.930664	4.321289	1.75293	0.317383	1.523437	1.68457	1.035156
13	06/07/2022 10:55:51.648	2.773437	3.94043	4.345703	1.75293	0.332031	1.523437	1.699219	1.025391
14	06/07/2022 10:55:59.333	2.763672	3.94043	4.331055	1.75293	0.322266	1.533203	1.704102	1.030273
15	06/07/2022 10:56:06.988	2.763672	3.94043	4.326172	1.748047	0.322266	1.547852	1.699219	1.030273
16	06/07/2022 11:01:11.775	0.634766	0.986328	3.256836	1.210937	0.170898	0.19043	0.78125	0.229492
17	06/07/2022 11:01:19.521	0.615234	0.976562	3.266602	1.201172	0.166016	0.185547	0.776367	0.214844
18	06/07/2022 11:01:27.433	0.620117	0.966797	3.261719	1.196289	0.166016	0.19043	0.771484	0.209961
19	06/07/2022 11:01:35.292	0.615234	0.957031	3.237305	1.196289	0.170898	0.180664	0.78125	0.219727
20	06/07/2022 11:01:43.053	0.615234	0.961914	3.193359	1.191406	0.161133	0.185547	0.766602	0.214844

Para el tercer objetivo se realizó un análisis estadístico que implica la obtención de la media, mediana, moda, desviación estándar, varianza, valor máximo y valor mínimo para entender el comportamiento de los sensores para cada sustancia, según el valor estadístico analizado: La media permite conocer el valor promedio de los datos obtenidos. La mediana ayuda a saber cuál es el valor que se encuentra en el punto medio de la secuencia de los datos ordenados de menor a mayor, y así, el punto de equilibrio de los datos. La moda ayuda a conocer los valores que se repiten más en los datos obtenidos. La varianza permite mantener un valor positivo del grado de dispersión de los datos con respecto a la media, es decir, que evita que las desviaciones positivas y negativas se anulen entre sí. La desviación estándar permite saber qué tan lejos o qué tan cerca se encuentran los datos con respecto a la media.

Además, en el caso del aire, se utilizó el promedio obtenido de cada prueba para obtener los valores de referencia del equipo para su funcionamiento, este se obtuvo a partir de los promedios de las pruebas realizadas, es decir:

El resumen estadístico de la primera, segunda y tercera prueba de medición realizada en el aire se muestra en las Tablas 12, 13 y 14, respectivamente. En la Tabla 15 se encuentra el promedio de los promedios para el aire. Con esta tabla se conocen los valores iniciales del equipo de medición de volátiles y así analizar los demás resúmenes estadísticos.

A continuación, se presentan los resúmenes estadísticos de las demás sustancias de referencia y de las sustancias de interés. Estos resúmenes se encuentran en las siguientes tablas:

- En la Tabla 16 se encuentra el resumen estadístico para el etanol.
- En la Tabla 17 se encuentra el resumen estadístico para el agua.

- En la Tabla 18 se encuentra el resumen estadístico para la cerveza Corona nueva.
- En la Tabla 19 se encuentra el resumen estadístico para la cerveza Dos Equis nueva.
- En la Tabla 20 se encuentra el resumen estadístico para la cerveza Corona abierta.
- En la Tabla 21 se encuentra el resumen estadístico para la cerveza Dos Equis abierta.
- En la Tabla 22 se encuentra el resumen estadístico para el café de cafetera.
- En la Tabla 23 se encuentra el resumen estadístico para el jugo de limón recién exprimido.
- En la Tabla 24 se encuentra el resumen estadístico para el saborizante de vainilla.

Tabla 13. Resumen estadístico de la primera prueba realizada en el aire

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.634940	1.039574	1.419465	1.011440	0.154099	0.169678	0.711437	0.220831
Mediana	0.634766	1.040039	1.420898	1.010742	0.151367	0.170898	0.712891	0.219727
Moda	0.634766	1.035156	1.420898	1.015625	0.151367	0.166016	0.717773	0.219727
Desviación estándar	1.4206E-02	1.3097E-02	2.1517E-02	1.3668E-02	1.3866E-02	1.4074E-02	1.3875E-02	1.3927E-02
Varianza	2.0182E-04	1.7152E-04	4.6299E-04	1.8683E-04	1.9227E-04	1.9807E-04	1.9251E-04	1.9397E-04
Valor máximo	0.683594	1.074219	1.479492	1.054687	0.190430	0.214844	0.751953	0.268555
Valor mínimo	0.585937	1.000977	1.362305	0.952148	0.097656	0.112305	0.664062	0.180664

Tabla 14. Resumen estadístico de la segunda prueba realizada en el aire

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.608101	1.320486	2.358602	1.055790	0.144538	0.181125	0.703181	0.205022
Mediana	0.605469	1.293945	2.333984	1.064453	0.146484	0.180664	0.703125	0.209961
Moda	0.595703	1.293945	2.314453	1.064453	0.146484	0.180664	0.698242	0.209961
Desviación estándar	4.1175E-02	1.2449E-01	1.1417E-01	2.3685E-02	1.7304E-02	1.6531E-02	2.4226E-02	1.7502E-02
Varianza	1.6954E-03	1.5497E-02	1.3036E-02	5.6097E-04	2.9943E-04	2.7328E-04	5.8690E-04	3.0631E-04
Valor máximo	0.708008	1.772461	2.69043	1.166992	0.224609	0.263672	0.771484	0.273437
Valor mínimo	0.400391	1.108398	2.036133	0.947266	0.009766	0.107422	0.610352	0.092773

Tabla 15. Resumen estadístico de la tercera prueba realizada en el aire

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.601685	1.031006	1.656982	1.050110	0.146240	0.224121	0.686035	0.266968
Mediana	0.600586	1.027832	1.650391	1.049805	0.146484	0.224609	0.683594	0.268555
Moda	0.600586	1.020508	1.572266	1.049805	0.146484	0.224609	0.683594	0.268555
Desviación estándar	6.7720E-03	1.3278E-02	6.6143E-02	7.3844E-03	7.2005E-03	5.6878E-03	7.2465E-03	6.6276E-03
Varianza	4.5860E-05	1.7631E-04	4.3749E-03	5.4529E-05	5.1847E-05	3.2351E-05	5.2512E-05	4.3926E-05
Valor máximo	0.615234	1.05957	1.791992	1.069336	0.166016	0.239258	0.703125	0.288086
Valor mínimo	0.590820	1.005859	1.552734	1.030273	0.126953	0.214844	0.668945	0.249023

Tabla 16. Promedio de los promedios (valores de referencia) de las tres pruebas realizadas en el aire

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.614909	1.130355	1.811683	1.039113	0.148292	0.191641	0.700218	0.230940

Tabla 17. Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al etanol

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.884729	1.771704	2.024419	1.326176	0.297989	0.469208	0.912891	0.451018
Mediana	0.473633	1.293945	1.535645	1.191406	0.258789	0.180664	0.747070	0.224609
Moda	0.878740	1.204698	1.009526	0.363645	0.139379	0.628415	0.389346	0.491062
Desviación estándar	0.878740	1.204698	1.009526	0.363645	0.139379	0.628415	0.389346	0.491062
Varianza	0.770371	1.447889	1.016750	0.131927	0.019381	0.393979	0.151234	0.240575
Valor máximo	3.105469	4.360352	4.643555	2.382812	0.698242	2.280273	1.918945	1.679687
Valor mínimo	0.405273	0.717773	1.142578	0.976562	0.102539	0.122070	0.605469	0.185547

Tabla 18. Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al agua

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.790150	1.209449	0.712067	1.347506	0.207632	0.196086	0.856164	0.375411
Mediana	0.791016	1.166992	0.708008	1.328125	0.205078	0.190430	0.805664	0.366211
Moda	0.791016	1.166992	0.708008	1.328125	0.205078	0.190430	0.805664	0.366211
Desviación estándar	0.032824	0.151729	0.091456	0.101426	0.020084	0.022015	0.068645	0.030196
Varianza	1.0756E-03	2.2982E-02	8.3499E-03	1.0270E-02	4.0269E-04	4.8384E-04	4.7040E-03	9.1022E-04
Valor máximo	0.874023	1.513672	0.966797	1.552734	0.258789	0.244141	0.996094	0.434570
Valor mínimo	0.717773	0.859375	0.571289	1.127930	0.166016	0.146484	0.708008	0.312500

Tabla 19: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas a la cerveza Corona nueva

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	1.960555	3.323688	3.848530	1.596318	0.315273	1.128111	1.385769	0.871823
Mediana	2.459310	4.000651	4.406738	1.678060	0.343425	1.432292	1.559245	1.063639
Moda	2.664388	4.096680	4.488932	1.085612	0.146484	0.206706	0.712890	0.253906
Desviación estándar	0.869569	1.099451	0.980091	0.290062	0.110096	0.575802	0.398982	0.400800
Varianza	7.5615E-01	1.2088E+00	9.6058E-01	8.4136E-02	1.2121E-02	3.3155E-01	1.5919E-01	1.6064E-01
Valor máximo	2.683919	4.103190	4.514974	1.944987	0.458984	1.661784	1.835938	1.280924
Valor mínimo	0.512695	1.277669	1.603190	1.082357	0.143229	0.196940	0.703125	0.247396

Tabla 20: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas a la cerveza Dos Equis nueva

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	1.814866	3.079282	3.348999	1.402021	0.230509	0.945405	1.170451	0.695626
Mediana	2.330729	3.876139	4.133301	1.450195	0.241699	1.166992	1.295573	0.833333
Moda	0.416667	0.960286	0.882161	1.030273	0.135091	0.152995	0.657552	0.205078
Desviación estándar	0.922066	1.250544	1.351474	0.240672	0.069749	0.545850	0.334209	0.340685
Varianza	0.850206	1.563861	1.826483	0.057923	0.004865	0.297952	0.111695	0.116067
Valor máximo	2.680664	4.015299	4.410807	1.722005	0.343424	1.569010	1.609700	1.123047
Valor mínimo	0.385742	0.939128	0.751953	0.929362	0.123698	0.152995	0.644531	0.200195

Tabla 21: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas a la cerveza Corona abierta

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	2.036133	3.230115	3.259935	1.510572	0.332654	1.064227	1.334593	0.825422
Mediana	2.600911	3.969727	4.143880	1.616211	0.375977	1.378581	1.533203	1.027018
Moda	0.548503	4.008789	0.737305	1.044922	0.170899	0.182292	0.688477	0.242513
Desviación estándar	0.918147	1.169426	1.423013	0.268737	0.100695	0.558100	0.381235	0.382044
Varianza	8.4299E-01	1.3676E+00	2.0250E+00	7.2220E-02	1.0139E-02	3.1148E-01	1.4534E-01	1.4596E-01
Valor máximo	2.726237	4.021810	4.344075	1.818034	0.462240	1.555989	1.715495	1.184896
Valor mínimo	0.520833	1.180013	0.716146	1.031901	0.161133	0.164388	0.681966	0.227865

Tabla 22: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas a la cerveza Dos Equis abierta

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.962524	1.821187	2.294108	1.150716	0.181885	0.374298	1.068624	0.384521
Mediana	0.780030	1.879883	2.664795	1.168213	0.184326	0.262451	0.994873	0.235596
Moda	0.544434	1.198731	1.083984	1.066895	0.122070	0.144043	0.817871	0.231934
Desviación estándar	0.458014	0.506874	0.942401	0.075594	0.056302	0.273773	0.264822	0.236119
Varianza	2.0978E-01	2.5692E-01	8.8812E-01	5.7145E-03	3.1700E-03	7.4952E-02	7.0131E-02	5.5752E-02
Valor máximo	1.877442	2.644043	3.522949	1.298829	0.302735	0.998535	1.630860	0.910645
Valor mínimo	0.541993	1.193848	1.081543	1.064453	0.117188	0.141602	0.747070	0.227051

Tabla 23: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al café de cafetera

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.600756	1.280995	1.597401	0.967689	0.134058	0.183721	0.684825	0.212324
Mediana	0.631511	1.362305	1.562500	0.961914	0.131836	0.183919	0.681966	0.213216
Moda	0.493164	0.807292	1.542969	1.017253	0.130208	0.196940	0.677083	0.219727
Desviación estándar	0.062700	0.298999	0.078917	0.037139	0.007494	0.010914	0.009859	0.009081
Varianza	3.9313E-03	8.9400E-02	6.2278E-03	1.3793E-03	5.6157E-05	1.1912E-04	9.7208E-05	8.2459E-05
Valor máximo	0.677083	1.647135	1.805013	1.028646	0.159505	0.200195	0.711263	0.227865
Valor mínimo	0.486653	0.799154	1.499024	0.916341	0.123698	0.161133	0.670573	0.190430

Tabla 24: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al jugo de limón

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	0.593931	1.618381	1.885634	0.970540	0.187247	0.190339	0.717231	0.214952
Mediana	0.610351	1.708171	1.902669	0.973307	0.192057	0.192057	0.716960	0.218099
Moda	0.664062	1.927083	1.837565	0.976562	0.193685	0.208333	0.740560	0.231120
Desviación estándar	0.066523	0.284903	0.057984	0.013966	0.014724	0.015656	0.029392	0.015154
Varianza	4.4253E-03	8.1170E-02	3.3621E-03	1.9505E-04	2.1680E-04	2.4511E-04	8.6390E-04	2.2966E-04
Valor máximo	0.683594	1.946615	1.982422	0.996094	0.209961	0.219727	0.901693	0.242513
Valor mínimo	0.429688	0.944010	1.746419	0.937500	0.143229	0.161133	0.675456	0.179036

Tabla 25: Resumen estadístico de los promedios de los valores de las pruebas realizadas al saborizante de vainilla

Valor estadístico	Voltaje MQ2	Voltaje MQ3	Voltaje MQ4	Voltaje MQ5	Voltaje MQ6	Voltaje MQ7	Voltaje MQ8	Voltaje MQ9
Promedio	1.596451	2.462540	3.532104	1.337860	0.207108	0.790268	1.166107	0.548462
Mediana	1.767578	2.885742	3.682861	1.280518	0.173340	0.878906	1.071777	0.505371
Moda	0.600586	0.939942	4.123535	0.986328	0.129395	0.170899	0.688477	0.202637
Desviación estándar	0.953348	1.321842	0.765723	0.236793	0.067441	0.593070	0.399894	0.344071
Varianza	9.0887E-01	1.7473E+00	5.8633E-01	5.6071E-02	4.5483E-03	3.5173E-01	1.5992E-01	1.1838E-01
Valor máximo	2.685547	3.908691	4.289551	1.711426	0.336914	1.557618	1.760254	1.037598
Valor mínimo	0.532227	0.915527	1.711426	0.979004	0.114746	0.156250	0.681153	0.195313

Una vez obtenidos los resúmenes estadísticos, se realizó un análisis y a la vez, una comparativa de gráficos, para poder conocer su comportamiento y características importantes de los datos obtenidos, y así ratificar su validez.

Adicionalmente, se buscó la zona más estable de cada gráfica para poder obtener el porcentaje de error de cada sensor para cada sustancia analizada y compararlo con el promedio de cada sustancia. Con esto se desea saber la precisión de los sensores con respecto al promedio obtenido.

Estos resultados se muestran en las siguientes tablas:

- En la Tabla 25 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para el aire.
- En la Tabla 26 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para el agua.
- En la Tabla 27 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para el etanol.
- En la Tabla 28 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para la cerveza Corona nueva.
- En la Tabla 29 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para la cerveza Dos Equis nueva.
- En la Tabla 30 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para la cerveza Corona abierta.
- En la Tabla 31 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para la cerveza Dos Equis abierta.
- En la Tabla 32 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para el café de cafetera.
- En la Tabla 33 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para el jugo de limón.
- En la Tabla 34 se muestra el valor promedio y el porcentaje de error para el saborizante de vainilla.

Tabla 26. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del aire

Aire	
El rango de cada sensor es:	MQ2 = 0.611 ± 10.090%
	MQ3 = 1.160 ± 27.933%
	MQ4 = 1.708 ± 45.247%
	MQ5 = 1.051 ± 3.136%
	MQ6 = 0.139 ± 22.467%
	MQ7 = 0.202 ± 11.783%
	MQ8 = 0.698 ± 5.162%
	MQ9 = 0.235 ± 13.247%

Tabla 27. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del agua

Agua	
El rango de cada sensor es:	MQ2 = 0.819 ± 5.268%
	MQ3 = 1.332 ± 12.340%
	MQ4 = 0.740 ± 16.832%
	MQ5 = 1.423 ± 8.576%
	MQ6 = 0.225 ± 11.956%
	MQ7 = 0.213 ± 13.359%
	MQ8 = 0.904 ± 8.821%
	MQ9 = 0.394 ± 8.471%

Tabla 28. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del etanol

Etanol	
El rango de cada sensor es:	MQ2 = 2.631 ± 3.310%
	MQ3 = 4.294 ± 0.379%
	MQ4 = 3.948 ± 11.008%
	MQ5 = 2.095 ± 6.760%
	MQ6 = 0.471 ± 33.679%
	MQ7 = 1.700 ± 3.638%
	MQ8 = 1.643 ± 9.212%
	MQ9 = 1.396 ± 15.559%

Tabla 29. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia de la cerveza Corona nueva

Cerveza Corona nueva			
El rango de cada sensor es:	MQ2 =	2.638 ±	0.432%
	MQ3 =	4.072 ±	0.839%
	MQ4 =	4.492 ±	1.848%
	MQ5 =	1.865 ±	3.010%
	MQ6 =	0.418 ±	3.113%
	MQ7 =	1.602 ±	5.640%
	MQ8 =	1.714 ±	3.134%
	MQ9 =	1.204 ±	5.680%

Tabla 30. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia de la cerveza Dos Equis nueva

Cerveza Dos Equis nueva			
El rango de cada sensor es:	MQ2 =	2.572 ±	4.208%
	MQ3 =	3.988 ±	0.204%
	MQ4 =	4.356 ±	0.691%
	MQ5 =	1.638 ±	2.086%
	MQ6 =	0.304 ±	10.963%
	MQ7 =	1.458 ±	2.232%
	MQ8 =	1.483 ±	2.909%
	MQ9 =	1.013 ±	3.133%

Tabla 31. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia de la cerveza Corona abierta

Cerveza Corona abierta			
El rango de cada sensor es:	MQ2 =	2.686 ±	2.455%
	MQ3 =	4.001 ±	1.159%
	MQ4 =	4.260 ±	3.897%
	MQ5 =	1.741 ±	4.909%
	MQ6 =	0.421 ±	13.153%
	MQ7 =	1.503 ±	6.768%
	MQ8 =	1.641 ±	6.197%
	MQ9 =	1.129 ±	8.147%

Tabla 32. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia de la cerveza Dos Equis abierta

Cerveza Dos Equis abierta			
El rango de cada sensor es:	MQ2 =	1.740 ±	0.636%
	MQ3 =	2.477 ±	6.565%
	MQ4 =	3.325 ±	3.890%
	MQ5 =	1.213 ±	2.474%
	MQ6 =	0.194 ±	7.432%
	MQ7 =	0.835 ±	7.210%
	MQ8 =	1.422 ±	22.374%
	MQ9 =	0.817 ±	5.854%

Tabla 33. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del café de cafetera

Café de cafetera			
El rango de cada sensor es:	MQ2 =	0.657 ±	10.100%
	MQ3 =	1.593 ±	17.106%
	MQ4 =	1.532 ±	14.926%
	MQ5 =	0.932 ±	2.154%
	MQ6 =	0.130 ±	18.520%
	MQ7 =	0.195 ±	12.291%
	MQ8 =	0.680 ±	2.411%
	MQ9 =	0.219 ±	12.500%

Tabla 34. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del jugo de limón

Jugo de limón			
El rango de cada sensor es:	MQ2 =	0.663 ±	12.393%
	MQ3 =	1.902 ±	18.357%
	MQ4 =	1.936 ±	3.153%
	MQ5 =	0.987 ±	0.165%
	MQ6 =	0.193 ±	15.190%
	MQ7 =	0.215 ±	4.545%
	MQ8 =	0.734 ±	1.109%
	MQ9 =	0.227 ±	6.452%

Tabla 35. Valor promedio más porcentaje de error de los sensores en presencia del saborizante de vainilla

Saborizante de vainilla			
El rango de cada sensor es:	MQ2 =	2.667 ±	4.714%
	MQ3 =	3.893 ±	1.098%
	MQ4 =	4.255 ±	1.779%
	MQ5 =	1.665 ±	3.519%
	MQ6 =	0.309 ±	0.395%
	MQ7 =	1.528 ±	0.000%
	MQ8 =	1.710 ±	2.784%
	MQ9 =	1.003 ±	0.243%

Una vez obtenidos los valores promedio y el porcentaje de error, se procede a su análisis mediante una comparativa de valores. Esto para poder observar los porcentajes de error según el tipo de sustancia que se analiza con los sensores.

Se realizó una comparativa de las sustancias de referencia, además de una comparativa con los valores obtenidos de la cerveza y al final, una comparativa realizada con las demás sustancias analizadas.

En las tablas, se observa el porcentaje de error más alto enmarcado en color rojo, mientras que el porcentaje de error más bajo se encuentra enmarcado en color azul.

Tabla 36. Tabla comparativa de los valores de las sustancias de referencia utilizadas en la experimentación (aire, agua y etanol)

Comparativa de valores de sustancias de referencia						
Sensor	Aire		Agua		Etanol	
	Promedio	% Desviación	Promedio	% Desviación	Promedio	% Desviación
MQ2 =	0.611 ±	10.090%	0.819 ±	5.268%	2.631 ±	3.310%
MQ3 =	1.160 ±	27.933%	1.332 ±	12.340%	4.294 ±	0.379%
MQ4 =	1.708 ±	45.247%	0.740 ±	16.832%	3.948 ±	11.008%
MQ5 =	1.051 ±	3.136%	1.423 ±	8.576%	2.095 ±	6.760%
MQ6 =	0.139 ±	22.467%	0.225 ±	11.956%	0.471 ±	33.679%
MQ7 =	0.202 ±	11.783%	0.213 ±	13.359%	1.700 ±	3.638%
MQ8 =	0.698 ±	5.162%	0.904 ±	8.821%	1.643 ±	9.212%
MQ9 =	0.235 ±	13.247%	0.394 ±	8.471%	1.396 ±	15.559%

Tabla 37. Tabla comparativa de los valores de la cerveza utilizada en la experimentación

Comparativa de valores de cerveza								
Sensor	Cerveza Corona nueva		Cerveza Dos Equis nueva		Cerveza Corona abierta		Cerveza Dos Equis abierta	
	Promedio	% Desviación	Promedio	% Desviación	Promedio	% Desviación	Promedio	% Desviación
MQ2 =	2.638 ±	0.432%	2.572 ±	4.208%	2.686 ±	2.455%	1.740 ±	0.636%
MQ3 =	4.072 ±	0.839%	3.988 ±	0.204%	4.001 ±	1.159%	2.477 ±	6.565%
MQ4 =	4.492 ±	1.848%	4.356 ±	0.691%	4.260 ±	3.897%	3.325 ±	3.890%
MQ5 =	1.865 ±	3.010%	1.638 ±	2.086%	1.741 ±	4.909%	1.213 ±	2.474%
MQ6 =	0.418 ±	3.113%	0.304 ±	10.963%	0.421 ±	13.153%	0.194 ±	7.432%
MQ7 =	1.602 ±	5.640%	1.458 ±	2.232%	1.503 ±	6.768%	0.835 ±	7.210%
MQ8 =	1.714 ±	3.134%	1.483 ±	2.909%	1.641 ±	6.197%	1.422 ±	22.374%
MQ9 =	1.204 ±	5.680%	1.013 ±	3.133%	1.129 ±	8.147%	0.817 ±	5.854%

Tabla 38. Tabla comparativa de los valores de las demás sustancias utilizadas en la experimentación (café de cafetera, jugo de limón y saborizante de vainilla)

Comparativa de valores de café de cafetera, jugo de limón y saborizante de vainilla						
Sensor	Café de cafetera		Jugo de limón		Saborizante de vainilla	
	Promedio	% Desviación	Promedio	% Desviación	Promedio	% Desviación
MQ2 =	0.657 ±	10.100%	0.663 ±	12.393%	2.667 ±	4.714%
MQ3 =	1.593 ±	17.106%	1.902 ±	18.357%	3.893 ±	1.098%
MQ4 =	1.532 ±	14.926%	1.936 ±	3.153%	4.255 ±	1.779%
MQ5 =	0.932 ±	2.154%	0.987 ±	0.165%	1.665 ±	3.519%
MQ6 =	0.130 ±	18.520%	0.193 ±	15.190%	0.309 ±	0.395%
MQ7 =	0.195 ±	12.291%	0.215 ±	4.545%	1.528 ±	0.000%
MQ8 =	0.680 ±	2.411%	0.734 ±	1.109%	1.710 ±	2.784%
MQ9 =	0.219 ±	12.500%	0.227 ±	6.452%	1.003 ±	0.243%

Una vez obtenido el porcentaje de error, se procede a realizar un análisis gráfico, para obtener la “huella dactilar” del alimento de interés, en este caso, del etanol. En primer lugar, se grafican los resultados de las tres pruebas de cada sensor y su promedio, para comprobar que la gráfica promedio coincida con los valores obtenidos y no tenga alguna desviación que pueda afectar el análisis siguiente. Estas gráficas se muestran a continuación, en las Figuras 15 a 22:

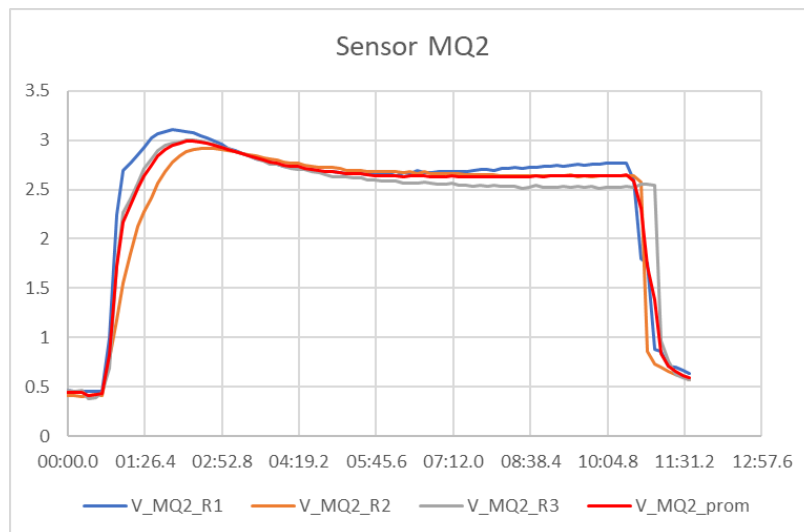


Figura 15. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ2

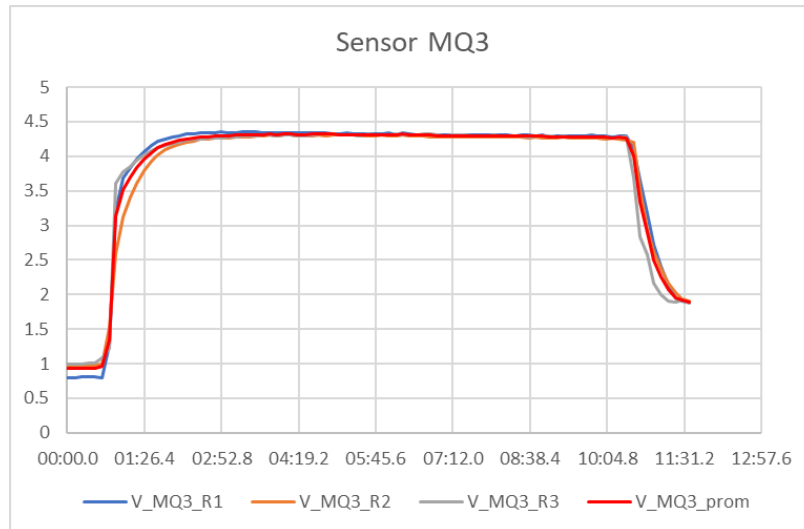


Figura 16. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ3

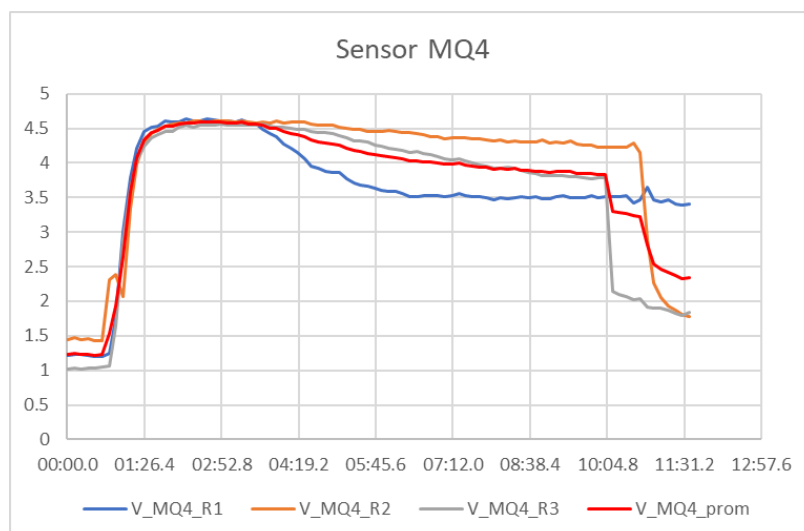


Figura 17. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ4

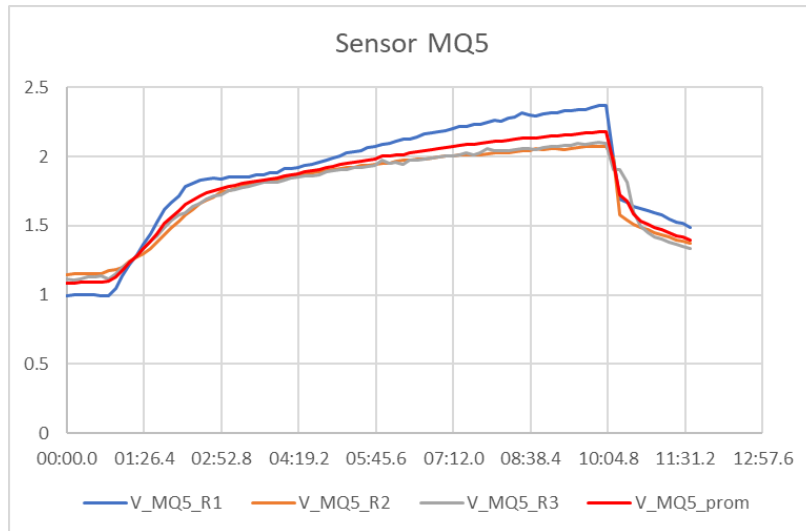


Figura 18. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ5

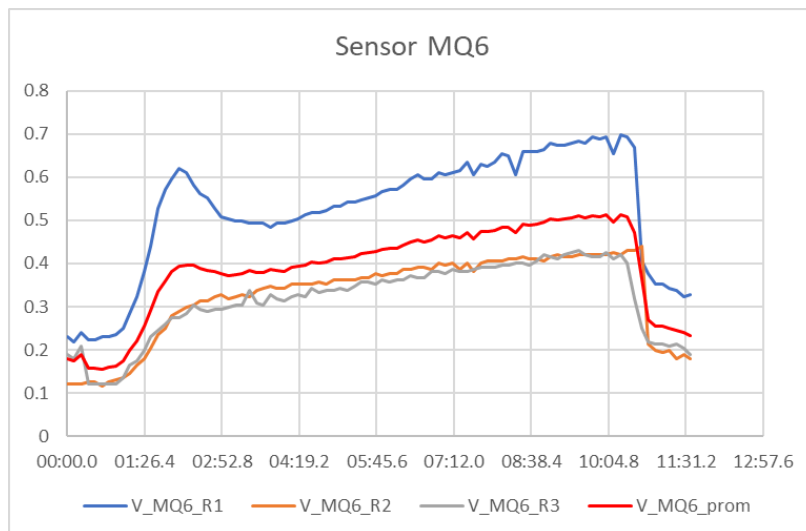


Figura 19. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ6

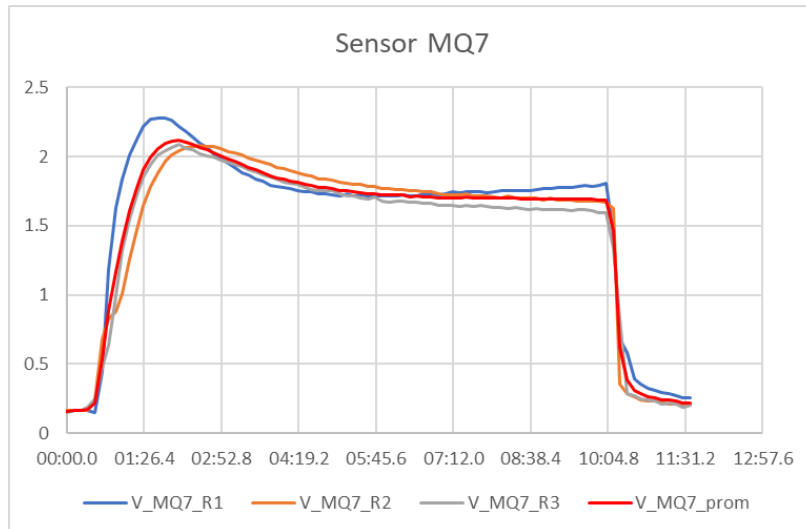


Figura 20. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ7

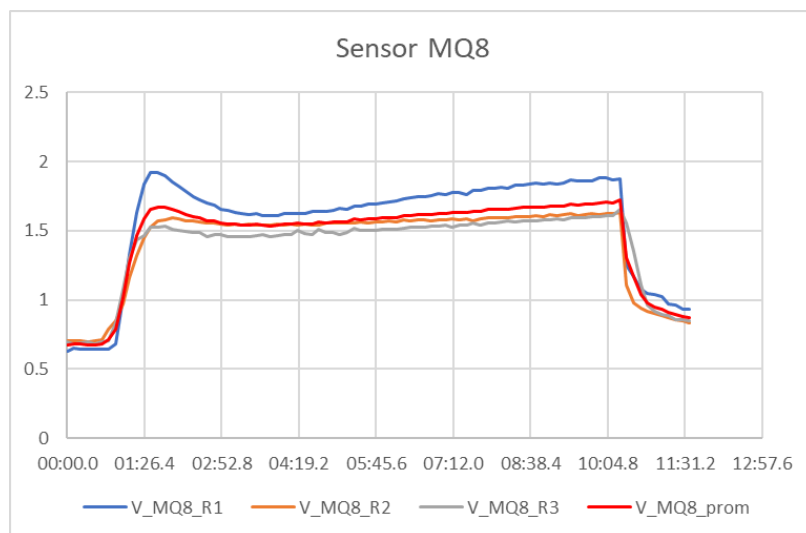


Figura 21. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ8

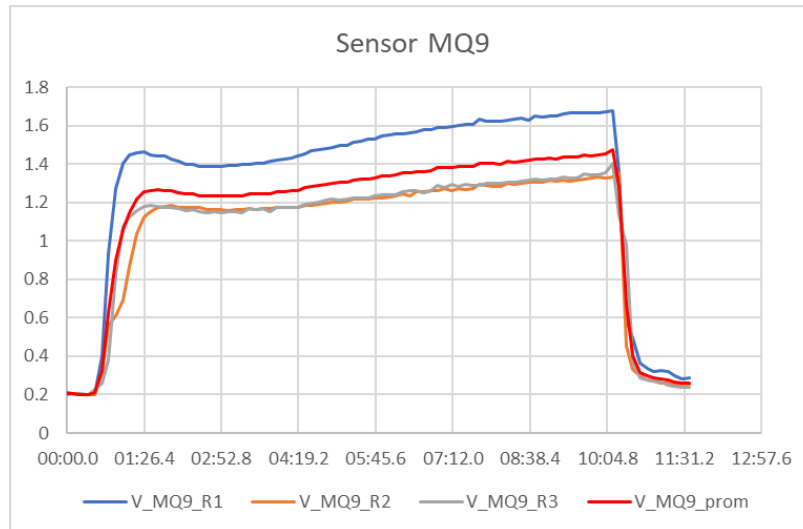


Figura 22. Gráfica realizada con los datos de las tres réplicas realizadas, junto con el promedio obtenido del sensor MQ9

Con las gráficas promedio obtenidas, se hace una comparativa gráfica de las curvas promedio para poder observar la forma de estas curvas y así poder ser agrupadas mediante este criterio.

En este caso específico, se distinguen tres formas en las curvas de los sensores. Por ello, se realizaron tres agrupaciones de gráficas, y con estas agrupaciones de curvas se obtiene una curva promedio para cada forma. Estas agrupaciones de curvas y la curva promedio de cada forma se observan en las Figuras 23, 24 y 25:

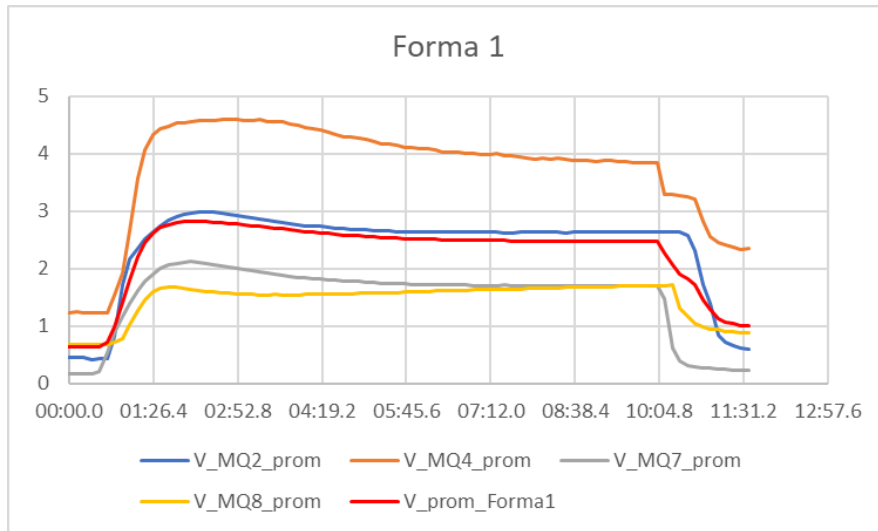


Figura 23. Forma 1 encontrada en las gráficas de los sensores. Se observa que la curva promedio es la línea roja.

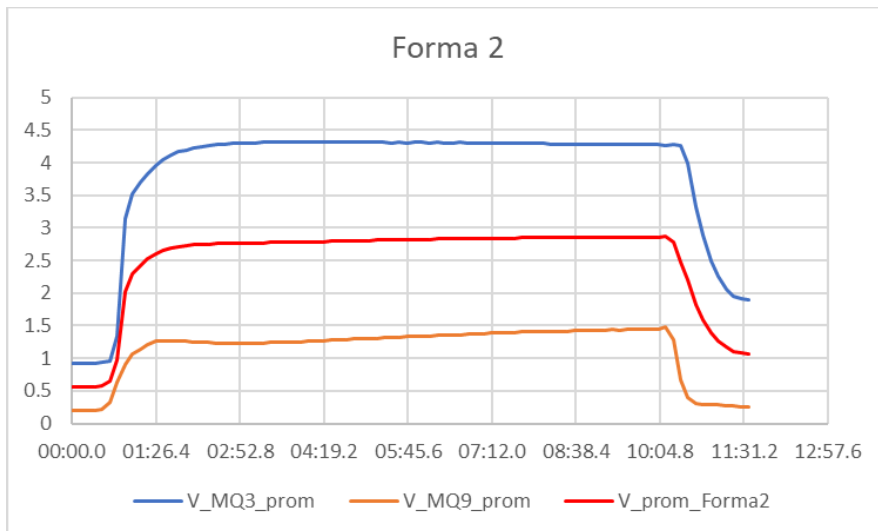


Figura 24. Forma 2 encontrada en las gráficas de los sensores. Se observa que la curva promedio es la línea roja.

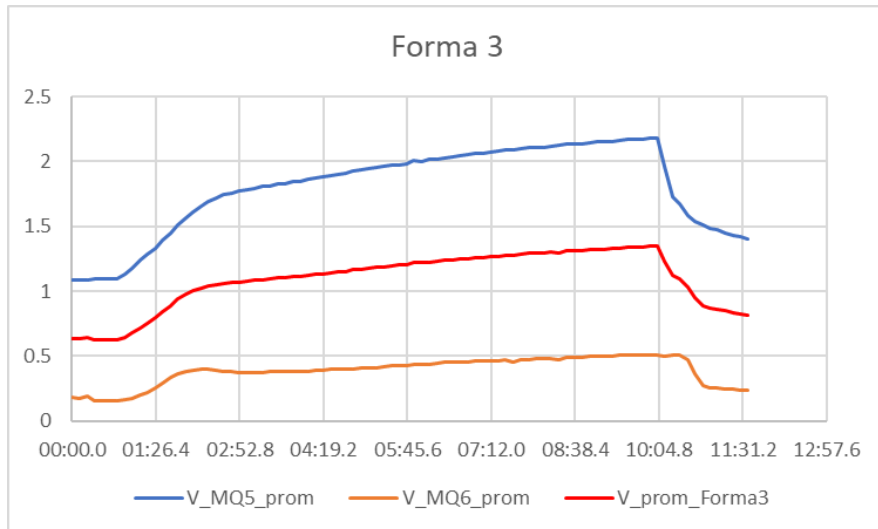


Figura 25. Forma 3 encontrada en las gráficas de los sensores. Se observa que la curva promedio es la línea roja.

Una vez obtenida la curva promedio por forma, se procede a obtener la curva promedio a partir de las curvas promedio realizadas, lo cual se observa en la Figura 26. Esta curva promedio obtenida representa la “huella dactilar” y se observa en la Figura 27.

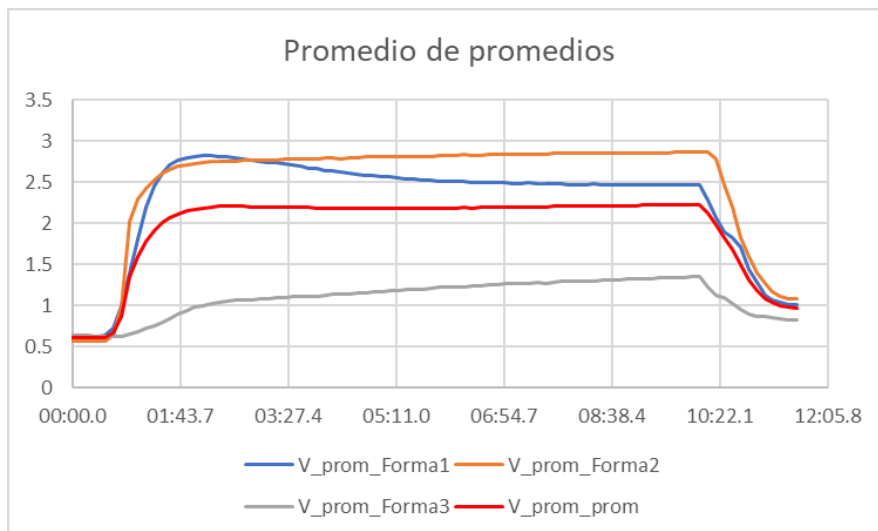


Figura 26. Curva promedio obtenida a partir de las tres curvas anteriores

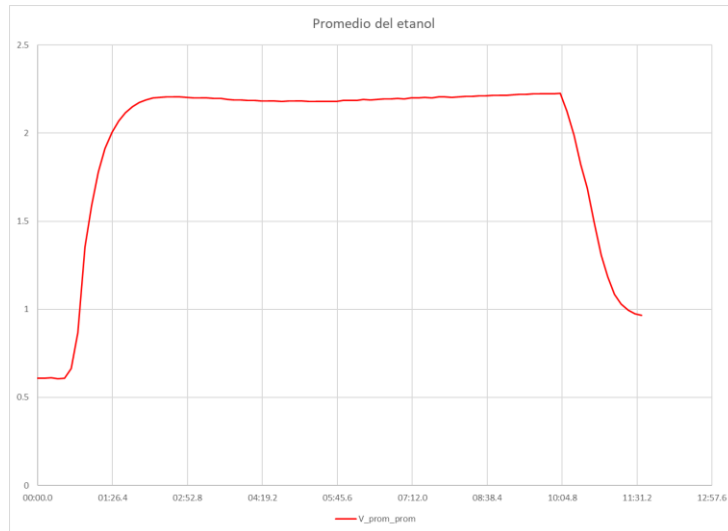


Figura 27. Curva promedio final, también llamada "huella dactilar", para el etanol

Esta curva promedio permite la identificación de los olores utilizando el sistema de detección de volátiles y con esto permite identificar el alimento de interés. A continuación, se muestran las “huellas dactilares” de las sustancias de interés para este trabajo en las Figuras 28 a 34.

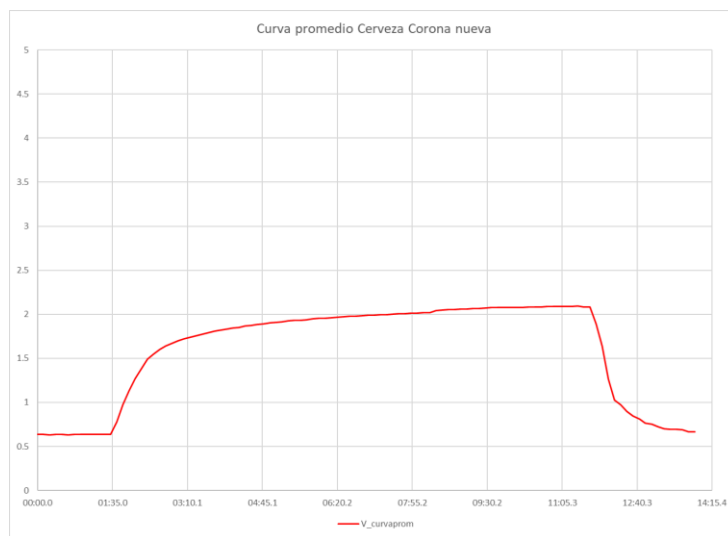


Figura 28. Curva promedio de la cerveza Corona nueva

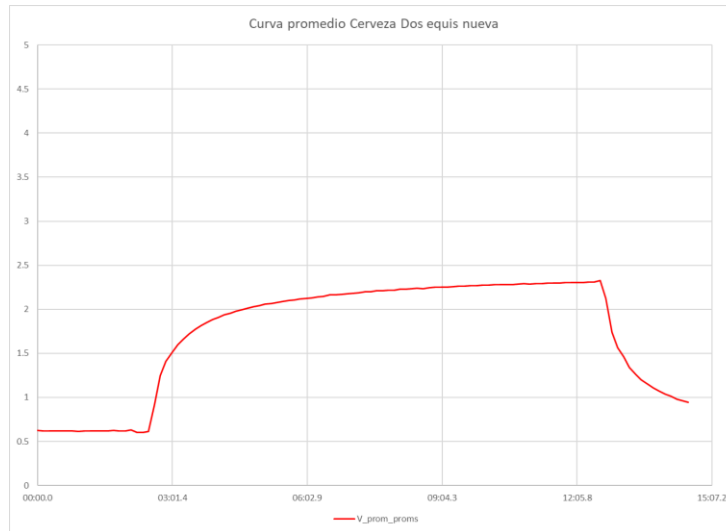


Figura 29. Curva promedio de la cerveza Dos Equis nueva



Figura 30. Curva promedio de la cerveza Corona abierta



Figura 31. Curva promedio de la cerveza Dos Equis abierta

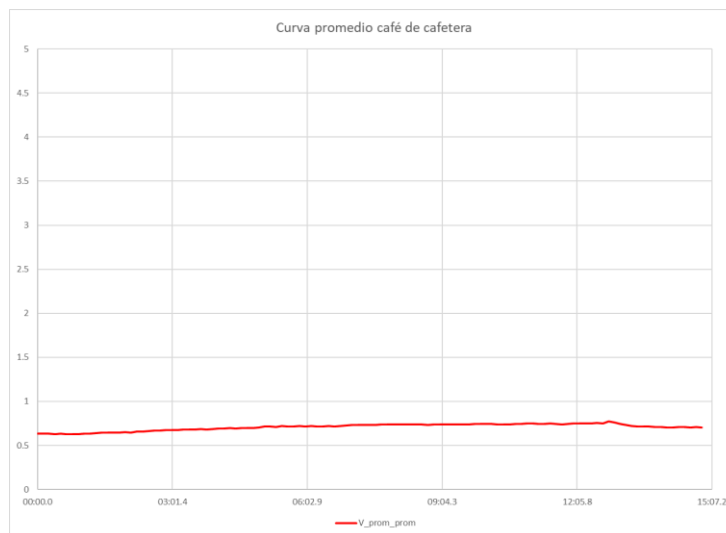


Figura 32. Curva promedio del café de cafetera

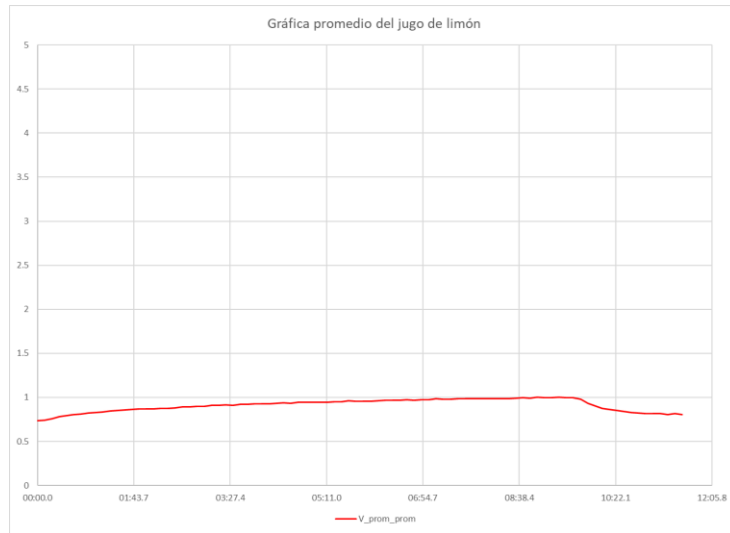


Figura 33. Curva promedio del jugo de limón

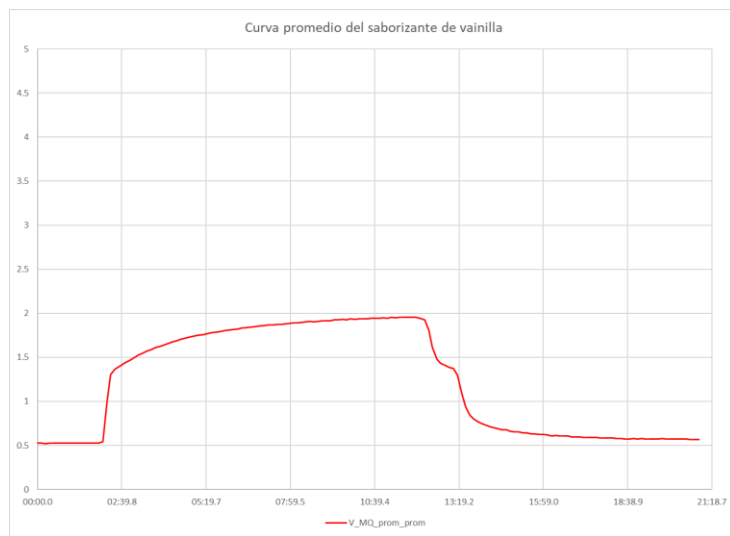


Figura 34. Curva promedio del saborizante de vainilla

Discusión

En esta investigación se consiguió que el equipo de detección de volátiles identifique cada tipo de alimento a partir de los valores iniciales obtenidos mediante la medición del aire. Se comprobó además que el equipo funciona bajo condiciones de humedad, lo que permite la posibilidad de utilizarse con alimentos o en ambientes húmedos. Sin embargo, el equipo no consigue identificar de manera específica los componentes químicos volátiles de cada alimento.

Estos resultados permiten comprobar que el equipo de detección puede identificar y diferenciar de manera rápida cada tipo de alimento seleccionado, además de que permite diferenciar la calidad. Estos resultados pueden utilizarse en la industria alimentaria como un estándar en la calidad al utilizar el equipo de detección.

Esta investigación permite la implementación de análisis de volátiles para medir la calidad de alimentos, sin embargo, se recomienda profundizar en la investigación de sensores que permitan la identificación puntual de componentes químicos específicos para medir de manera precisa la calidad de los alimentos.

Conclusiones

Los resultados de los experimentos de detección demostraron que el sistema propuesto puede realizar la detección de volátiles en productos de origen alimentario de interés los cuales son café de cafetera, jugo de limón recién exprimido, saborizante de vainilla (Sayes), cerveza (Corona y Dos Equis) nueva y después de abierta.

Con los sensores electroquímicos resistivos utilizados en el sistema de muestreo MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ6, MQ7, MQ8 y MQ9 se realizaron mediciones a las sustancias de referencia (aire, agua y etanol) y se obtuvieron los valores de referencia para una correcta medición de volátiles. Se observó que los sensores presentaban una alta sensibilidad, la cual es diferente para cada sensor, para el aire que abarca desde 3.136% (para el sensor MQ5) hasta 45.247% (para el sensor MQ4); para el agua que abarca desde 5.268% (para el sensor MQ2) hasta 16.832% (para el sensor MQ4); y para el etanol que abarca desde 0.379% (para el sensor MQ3) hasta 33.679% (para el sensor MQ6).

Al realizar las mediciones de los productos de origen alimentario de interés, se observó que los sensores electroquímicos resistivos mostraron una respuesta sensible y selectiva a diferentes compuestos volátiles, sin embargo, no es posible hacer notar una diferencia entre diferentes compuestos volátiles presentes en un mismo producto, es decir, no se puede distinguir que componente químico volátil están detectando los sensores.

Dentro de la ingeniería, esta investigación permite tener un equipo de control de detección de volátiles accesible para la medición de la calidad de los productos alimentarios y agroalimentarios.

Referencias bibliográficas

- Aldwayne, J. (2022). Classification of Coffee Variety using Electronic Nose. *2022 IEEE 18th International Colloquium on Signal Processing & Applications (CSPA 2022)* (págs. 248-253). Malasia: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Carbajal, C. (2018). Nariz electrónica: Herramienta para detección de gases empleando redes neuronales artificiales. *Revista Tecnología Digital*, 39-47.
- Flórez, A. (2020). Análisis de volátiles en el proceso de fermentado de cacao, mediante una nariz electrónica para el control de calidad del producto en Norte de Santander-Cúcuta. *Respuestas: Journal of Engineerin Sciences*, 133-146.
- Franco, I. (2012). *Detectores, Sensores y Transductores*. Michoacán: Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Gomis, V. (2008). *Cromatografía de gases*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Gudiño, A. (2021). Diseño de una nariz electrónica con redes neuronales artificiales para determinar la maduración de frutos. *DIFU100ci@: Revista de Difusión Científica, Ingeniería y Tecnologías*, 65-72.
- Hanwei Electronics CO.,LTD. (s.f.). Technical Data MQ Gas Sensor.
- Heredia. (2016). Olfactory classification using electronic nose system via artificial neural network. *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)* (págs. 3569-3574). Singapur: IEEE.
- Heredia, A. (2016). Olfactory Classification using Electronic Nose System via Artificial Neural Network. *IEEE Region 10 Conference (TENCON)* (págs. 3569-3574). Singapur: Research Publishing Services.
- López, M. (2012). Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes. *INGENIERIA UC*, 74 - 88.
- Lozano, R. (2022). Sensores de Gas y su Impacto en Nuestro Día a Día. *Compartiendo Ciencia ICUAP*, 142-153.

- Magfira, D. (2018). Classification of Arabica and Robusta Coffee using Electronic Nose. *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (págs. 645-650). Indonesia: Ferry Wahyu Wibowo.
- Moreno, I. (2009). La Nariz Electrónica: Estado del Arte. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 76-91.
- PRAXAIR. (2015). *Principios Detección de Gas*. México: PRAXAIR. Obtenido de Principios Detección .
- Rahman, D. (2017). Electronic Nose for Classifying Beef and Pork using Naive Bayes. *2017 International Seminar on Sensor, Instrumentation, Measurement and Metrology* (págs. 104-108). Indonesia: ISSIMM.
- Schaller, E. (1998). 'Electronic Noses' and Their Application to Food. *Academic Press*, 305-316.
- Trirongjitmoah, S. (2015). Classification of garlic cultivars using an electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, 148-153.
- Vázquez, J. C. (2020). *Curso Interactivo de CLAR y CG*. CDMX: UNAM.
- Wijaya, D. R. (2017). Electronic Nose for Classifying Beef and Pork using Naive Bayes. *2017 International Seminar on Sensor, Instrumentation, Measurement and Metrology (ISSIMM)* (págs. 104-108). Indonesia: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Yavuzer, E. (2021). Determination of fish quality parameters with low cost electronic nose. *Food Bioscience*, 1-6.

Anexos

Anexo 1: Diseño y construcción de la cámara de muestreo

En este anexo se encuentra el diseño del plano de la cámara de muestreo, el diseño en 3D y el diagrama unifilar, así como fotografías del prototipo construido. En la Figura 35, se observa el plano la cara externa del diseño de la cámara de muestreo. Se destaca el uso de bisagras en su estructura, las cuales ayudan a desaturar el aire del interior de la cámara, una vez que se termina de realizar una medición. En la Figura 36, se observa el plano de la cara interna del diseño de la cámara de muestreo. Se destaca el empleo de la placa Peltier y el sensor de temperatura para el control de calentamiento de la placa y así poder realizar pruebas de medición de volátiles con altas temperaturas.

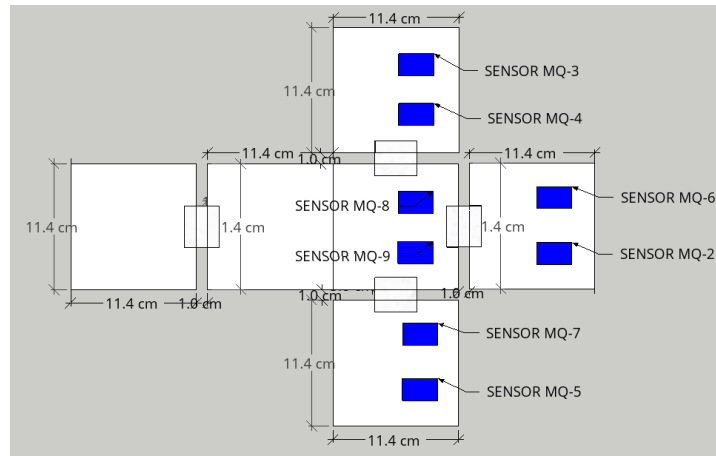


Figura 35. Plano de la parte externa realizado en Sketch Up (Fuente: propia)

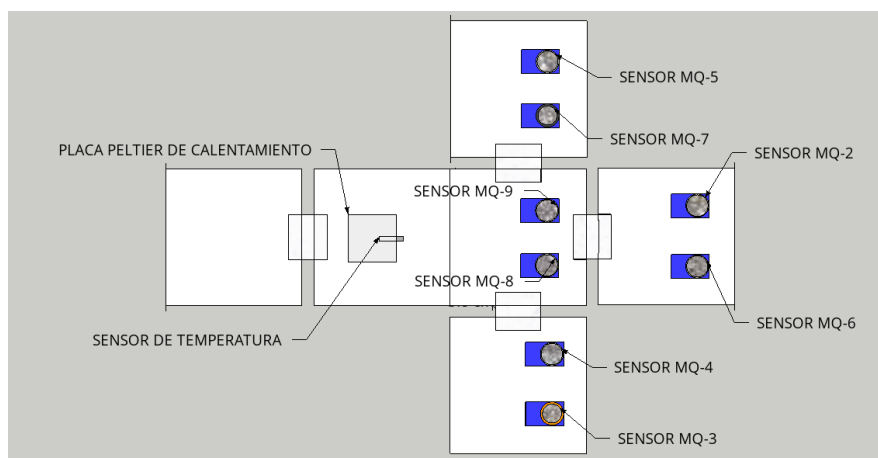


Figura 36. Plano de la parte interna realizado en Sketch Up (Fuente: propia)

En la Figura 37 se observa el diagrama unifilar de la cámara de muestreo, es decir, el diagrama eléctrico de la cámara de muestreo. Destacan las múltiples conexiones eléctricas para poder hacer que la cámara de muestreo funcione. En la Figura 38 se observa la cámara de muestreo construida e instalada en la mesa de trabajo para su fácil transportación.

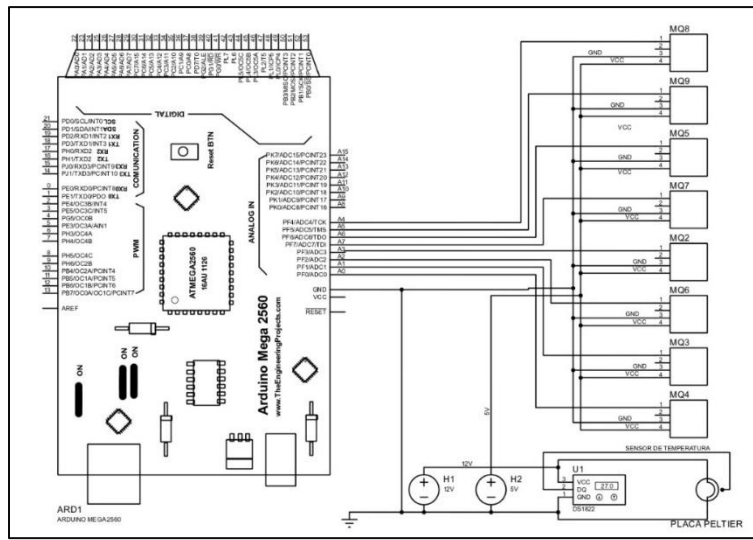


Figura 37. Diagrama unifilar (diagrama eléctrico) del prototipo diseñado, realizado en SmartDraw (Fuente: propia)

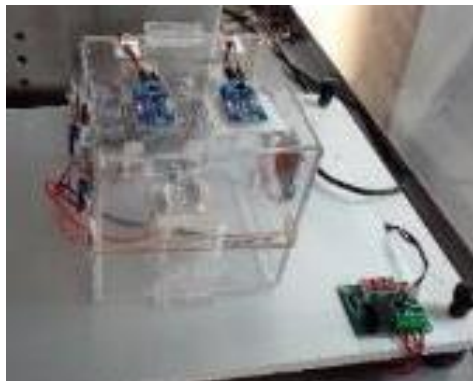


Figura 38. Instalación de la cámara de sensores en la mesa (Fuente: propia)

Anexo 2: Rutina de muestreo de la cámara de muestreo realizado con LabVIEW

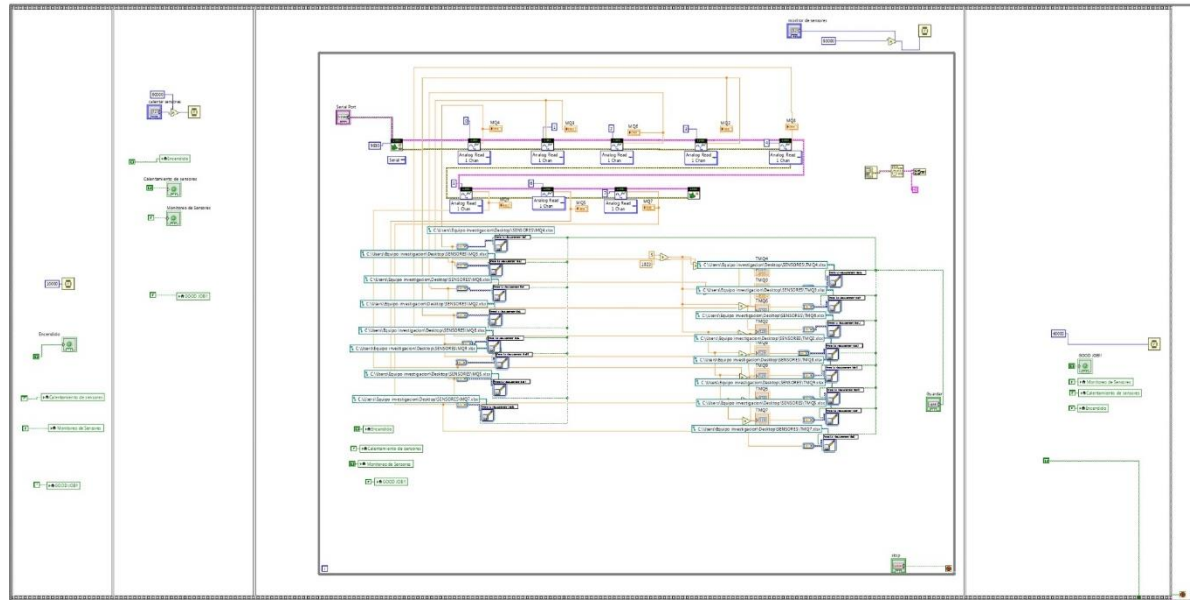


Figura 39. Diagrama de bloques realizado en LabVIEW, para el manejo de la cámara de muestreo (Fuente: propia)

En la Figura 44 se observa el diagrama de bloques para poder controlar la cámara de muestreo a través de la tarjeta Arduino. Se observan los bloques compiladores de información de los sensores, así como los bloques traductores de información que permite la obtención de los datos de los sensores a través de los archivos .csv, compatibles con Excel.

Anexo 3: Hojas de datos de los ocho sensores instalados en la cámara de muestreo

HANWEI ELETRONICS CO.,LTD

MQ-2

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA

MQ-2 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope
Stable and long life

Fast response and High sensitivity
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, i-butane, propane, methane ,alcohol, Hydrogen, smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _h	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

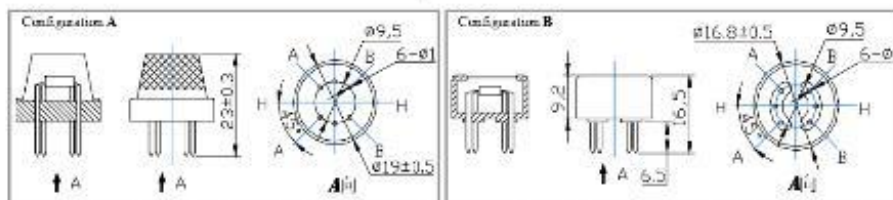
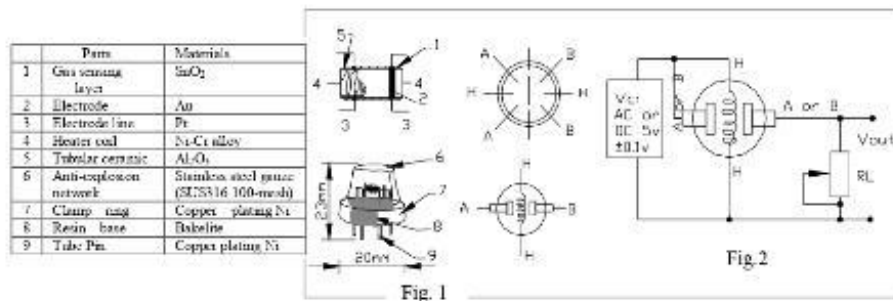
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-20℃-50℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R _s	Sensing Resistance	3K Ω -30K Ω (1000ppm iso-butane)	Detecting concentration scope: 200ppm-5000ppm LPG and propane 300ppm-5000ppm butane 5000ppm-20000ppm methane 300ppm-5000ppm H ₂ 100ppm-2000ppm Alcohol
α (3000/1000) isobutane	Concentration Slope rate	≤0.6	
Standard Detecting Condition		Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65% ± 5%	V _c : 5V ± 0.1 V _h : 5V ± 0.1
Preheat time		Over 24 hour	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-2 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a

TEL: 86-371-67169070 67169080 FAX: 86-371-67169090

E-mail: sales@hwsensor.com

crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-2 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

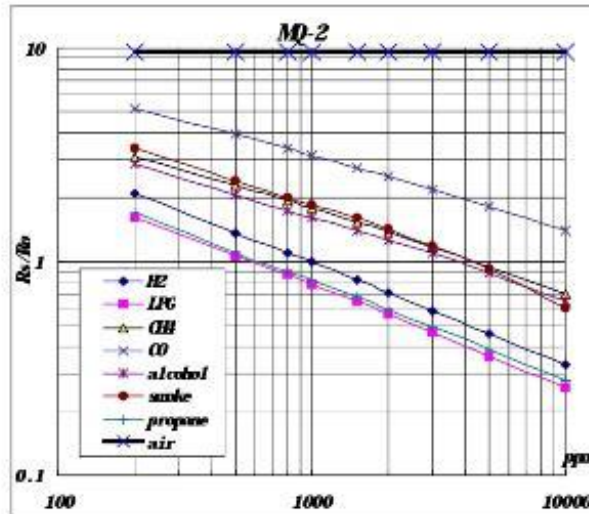


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-2

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-2 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
Humidity: 65%,
O₂-concentration 21%,
RL=5kΩ

R₀: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in the clean air.
R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

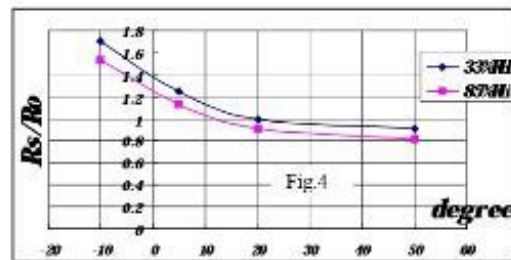


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-2 on temperature and humidity.

R₀: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in air at 33%RH and 20 degree.
R_s: sensor resistance at 1000ppm of H₂ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-2 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm liquified petroleum gas<LPG>.or 1000ppm iso-butane<i-C₄H₁₀>concentration in air and use value of Load resistance that(R_L) about 20 KΩ (5KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

TECHNICAL DATA**MQ-3 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to alcohol and small sensitivity to Benzene .
- * Fast response and High sensitivity
- * Stable and long life
- * Simple drive circuit

APPLICATION

They are suitable for alcohol checker, Breathalyser.

SPECIFICATIONS**A. Standard work condition**

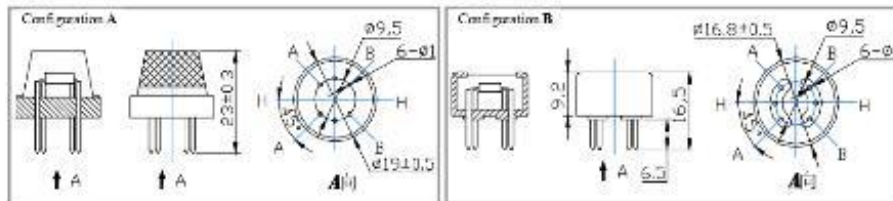
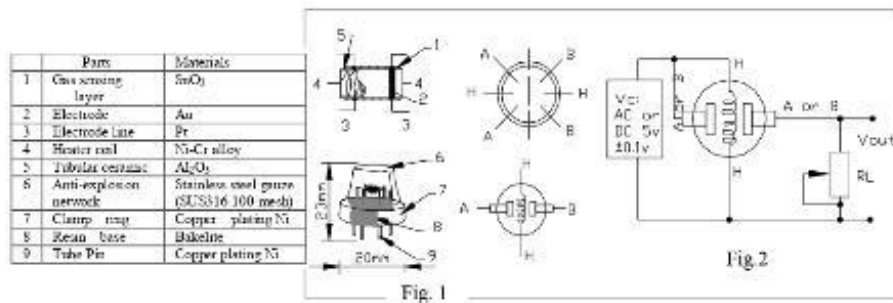
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V_c	Circuit voltage	$5V \pm 0.1$	AC OR DC
V_{Hr}	Heating voltage	$5V \pm 0.1$	AC OR DC
R_L	Load resistance	200K Ω	
R_{Hr}	Heater resistance	$33 \Omega \pm 5\%$	Room Temp
P_H	Heating consumption	less than 750mW	

B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T_{Ho}	Using Temp	$-10^{\circ}C - 50^{\circ}C$	
T_{St}	Storage Temp	$-20^{\circ}C - 70^{\circ}C$	
R_{Hr}	Relative humidity	less than 95%RH	
O_2	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R_s	Sensing Resistance	1M Ω - 8 M Ω (0.1mg/L alcohol)	Detecting concentration scope: 0.05mg/L—10mg/L. Alcohol
β (0.4/1 mg/L)	Concentration slope rate	≤ 0.6	
Standard detecting condition	Temp: $20^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ Humidity: $65\% \pm 5\%$	$V_c: 5V \pm 0.1$ $V_{Hr}: 5V \pm 0.1$	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-3 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-3 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

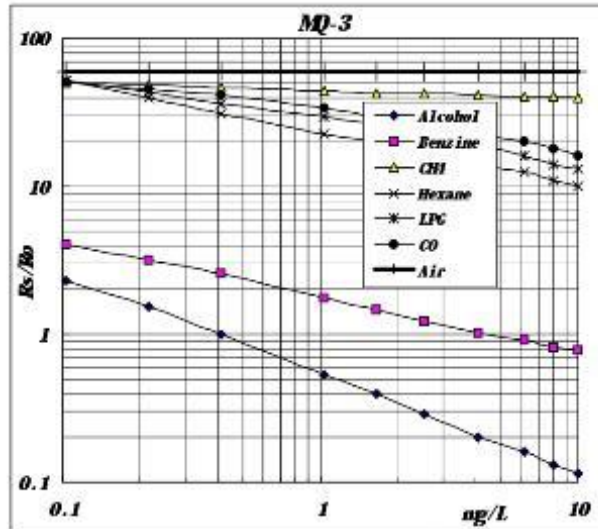


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-3

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-3 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
Humidity: 65%,
 O_2 concentration 21%
RL=200k Ω

R_0 : sensor resistance at 0.4mg/L of Alcohol in the clean air.
 R_s :sensor resistance at various concentrations of gases.

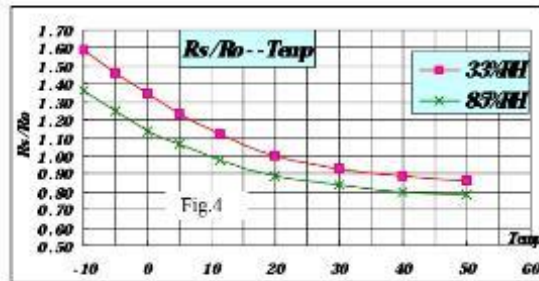


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-3 on temperature and humidity.

R_0 : sensor resistance at 0.4mg/L of Alcohol in air at 33%RH and 20 °C
 R_s : sensor resistance at 0.4mg/L of Alcohol at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-3 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 0.4mg/L (approximately 200ppm) of Alcohol concentration in air and use value of Load resistance(R_L) about 200 k Ω (100k Ω to 470 k Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

TECHNICAL DATA**MQ-4 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to CH₄, Natural gas.
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response . * Stable and long life * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH₄, Natural gas, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS**A. Standard work condition**

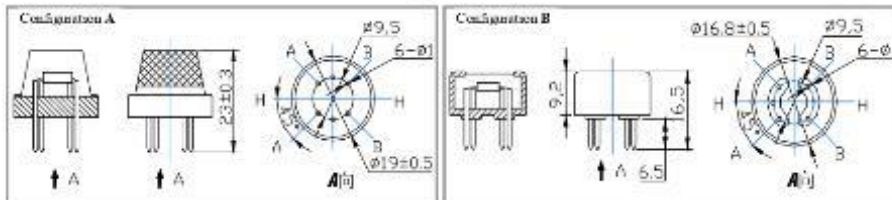
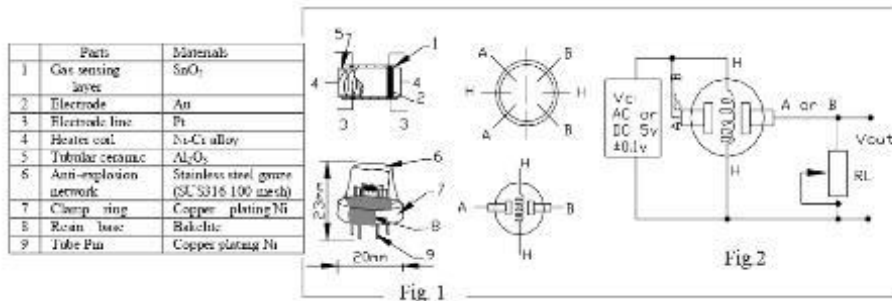
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	20K Ω	
R _H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mW	

B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10℃-50℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Relative humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm CH ₄)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH ₄ , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm CH ₄)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65% ± 5%	V _c : 5V ± 0.1 V _H : 5V ± 0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig. 2
 E. Sensitivity characteristic curve

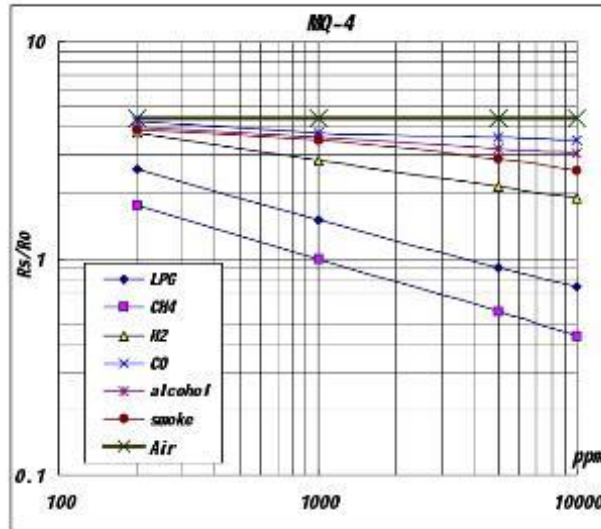


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
 Humidity: 65%,
 O₂ concentration 21%
 RL=20kΩ
 R₀: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in the clean air.
 R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

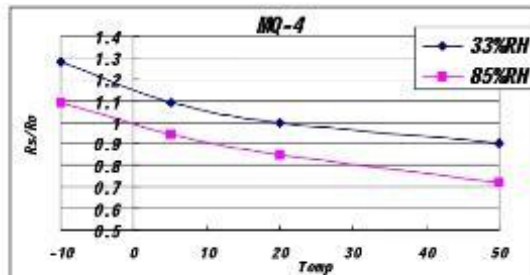


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity.

R₀: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at 33%RH and 20 degree.
 R_s: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of CH₄ concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20K Ω (10K Ω to 47K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

TECHNICAL DATA**MQ-5 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to LPG, natural gas, town gas
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response * Stable and long life * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, natural gas, town gas, avoid the noise of alcohol and cooking furnes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS**A. Standard work condition**

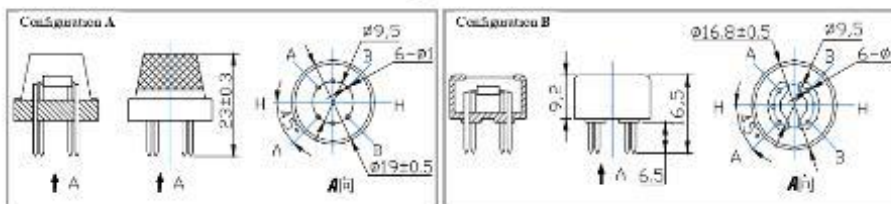
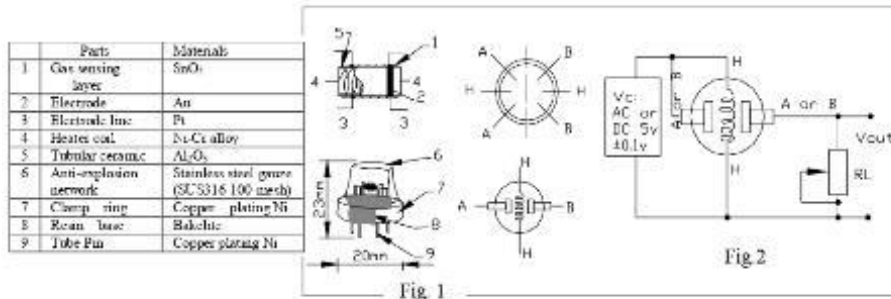
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V_c	Circuit voltage	$5V \pm 0.1$	AC OR DC
V_H	Heating voltage	$5V \pm 0.1$	AC OR DC
P_L	Load resistance	20K Ω	
R_H	Heater resistance	$31 \pm 10\%$	Room Tem
P_H	Heating consumption	less than 80mW	

B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T_{ao}	Using Tem	$-10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$	
T_{as}	Storage Tem	$-20^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$	
R_H	Related humidity	less than 95%Rh	
O_2	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R_s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (5000ppm methane)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm LPG, LNG natural gas, iso-butane, propane Town gas
α (5000ppm/1000ppm CH ₄)	Concentration slope rate	≤ 0.6	
Standard detecting condition	Temp: $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ Humidity: $65\% \pm 5\%$	$V_c: 5V \pm 0.1$ $V_H: 5V \pm 0.1$	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-5 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by

TEL: 86-371-67169070 67169080 FAX: 86-371-67169090

E-mail: sales@hwsensor.com

micro Al_2O_3 ceramic tube. Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-5 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-5

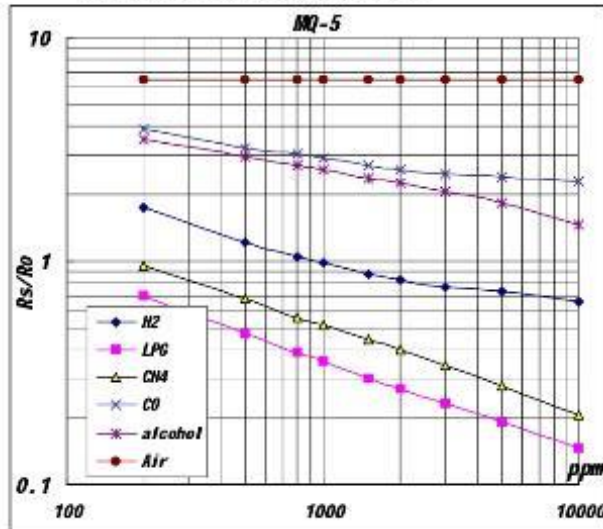


Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-5 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
Humidity: 65%,
O₂ concentration 21%,
RL=20kΩ

R₀: sensor resistance at 1000ppm of

H₂ in the clean air

R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

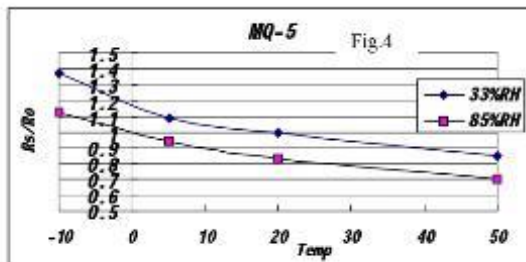


Fig.4 shows the typical dependence of the MQ-5 on temperature and humidity.

R₀: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in air at 33%RH and 20 degree.

R_s: sensor resistance at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-5 is different to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm H₂ or LPG concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20 KΩ (10KΩ to 47KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

TECHNICAL DATA MQ-6 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to LPG, iso-butane, propane
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response . * Stable and long life * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, iso-butane, propane, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V_e	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V_H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R_L	Load resistance	20K Ω	
R_H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Temp
P_H	Heating consumption	less than 750mW	

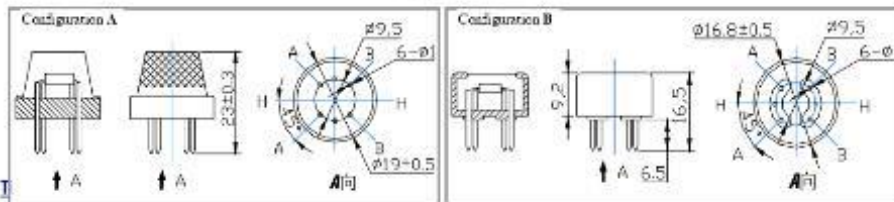
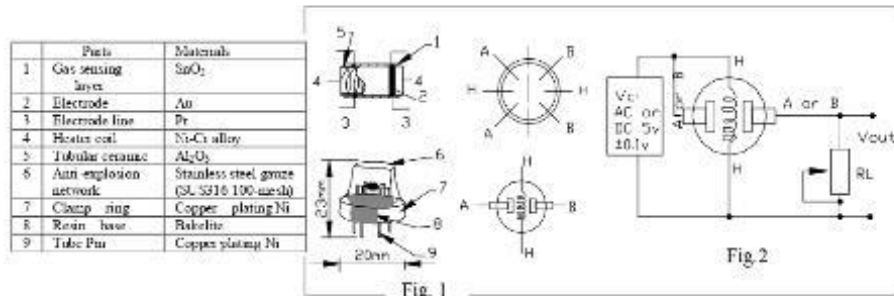
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T_{uo}	Using Temp	-10℃-50℃	
T_{as}	Storage Temp	-20℃-70℃	
R_H	Relative humidity	less than 95%Rh	
O_2	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R_s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm LPG)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm LPG, iso-butane, propane, LNG
α (1000ppm/ 4000ppm LPG)	Concentration slope rate	≤ 0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65% ± 5%	V_e : 5V±0.1 V_H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-6 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-6 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig. 2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-6

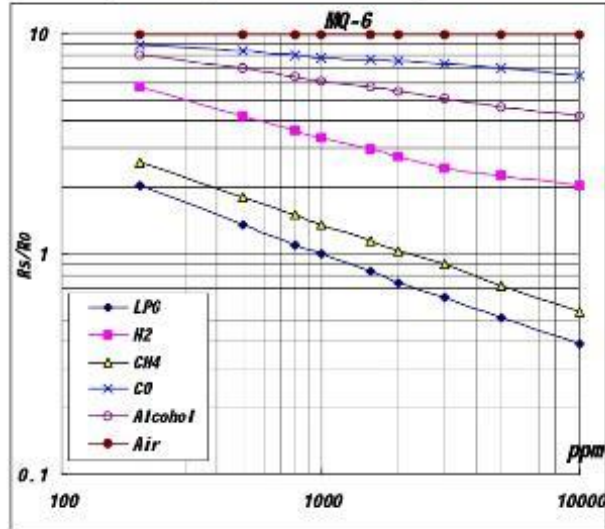


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-6 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
Humidity: 65%,
O₂ concentration 21%
RL=20kΩ

R₀: sensor resistance at 1000ppm of LPG in the clean air.
R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

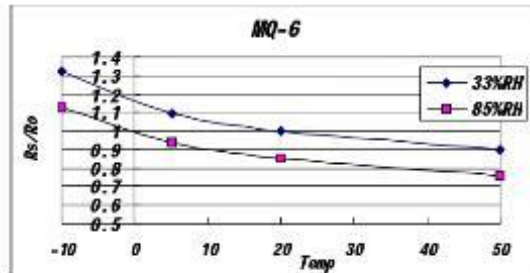


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-6 on temperature and humidity.

R₀: sensor resistance at 1000ppm of LPG in air at 33%RH and 20 degree.

R_s: sensor resistance at 1000ppm of LPG in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-6 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm of LPG concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20KΩ (10KΩ to 47KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

TECHNICAL DATA**MQ-7 GAS SENSOR****FEATURES**

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V ± 0.1	Ac or Dc
V _H (H)	Heating voltage (high)	5V ± 0.1	Ac or Dc
V _H (L)	Heating voltage (low)	1.4V ± 0.1	Ac or Dc
R _L	Load resistance	Can adjust	
R _H	Heating resistance	33 Ω ± 5%	Room temperature
T _H (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
T _H (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
T _{ao}	Using temperature	-20°C -50°C	
T _{as}	Storage temperature	-20°C -50°C	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
R _s	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	R _s (300ppm)/R _s (100ppm)
Standard working condition	Temperature -20°C ± 2°C V _c :5V ± 0.1V V _H :5V ± 0.1V V _H :1.4V ± 0.1V	relative humidity 65% ± 5% R _L :10K Ω ± 5%	
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

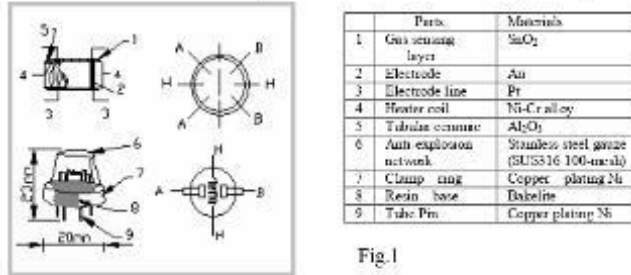


Fig 1

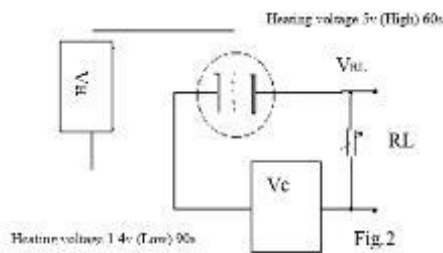
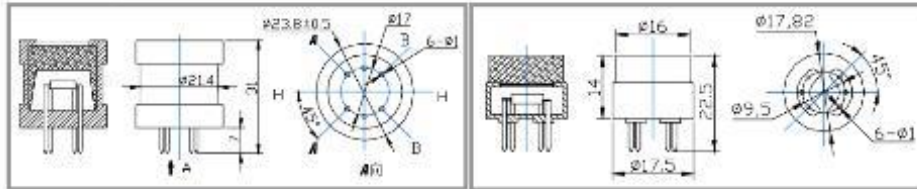


Fig 2

Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts, one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig 2

E. Sensitivity characteristic curve

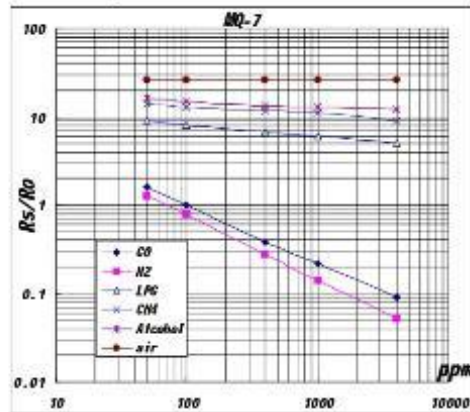


Fig 3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

in their: Temp: 20℃,

Humidity: 65%,

O₂ concentration 21%

R₁=10k Ω

R₀: sensor resistance at 100ppm

CO in the clean air.

R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

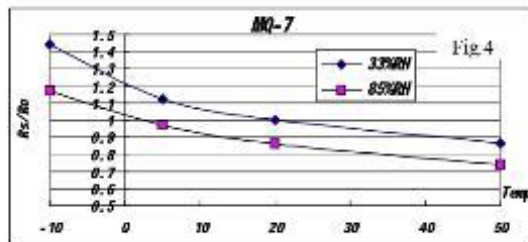


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.

R0: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.

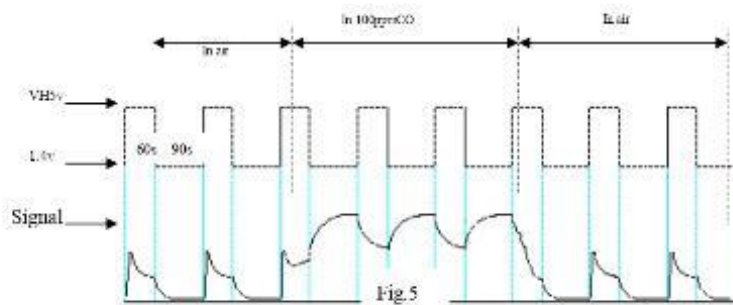
Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R_s is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R_L , which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s \cdot R_L = (V_e - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of R_L signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO_2 with stability. So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that(R_L) about 10 K Ω (5K Ω to 47 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us.](#)

TECHNICAL DATA

MQ-8 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to Hydrogen (H₂)
- * Small sensitivity to alcohol, LPG,cooking fumes
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of Hydrogen (H₂), avoid the noise of alcohol and cooking fumes, LPG,CO.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
P _L	Load resistance	10KΩ	
R _H	Heater resistance	31 ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than800mW	

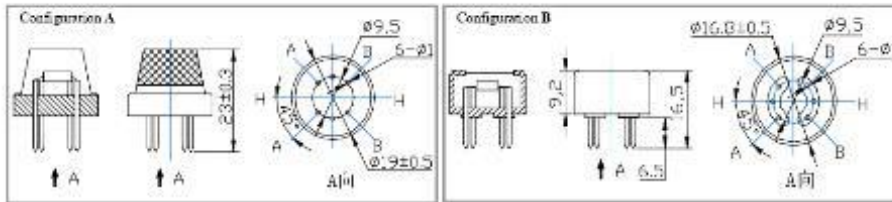
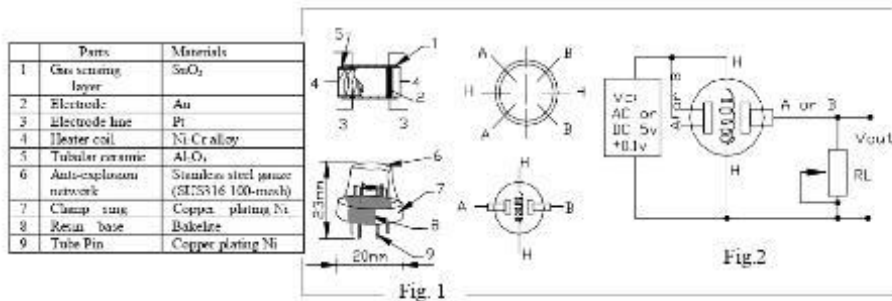
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10℃-50℃	
T _{as}	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen coccentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10KΩ - 60KΩ (1000ppm H ₂)	Detecting concentration scope: 100-10000ppm Hydrogen (H ₂)
α (1000ppm/ 500ppmH ₂)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5%	V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-8 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-8 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2
 E. Sensitivity characteristic curve

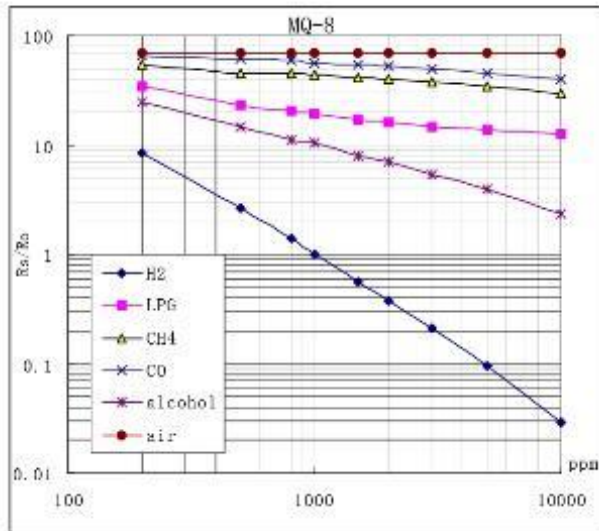


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-8

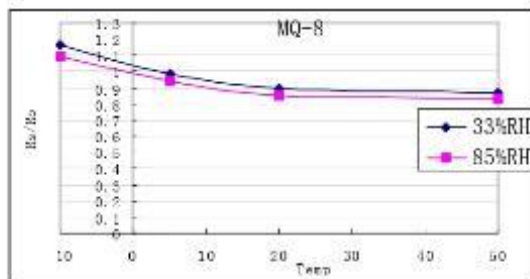


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-8 on temperature and humidity.
 Ro: sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at 33%RH and 20 degree.
 Rs: sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-8 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 1000ppm H_2 concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 10 K Ω (5K Ω to 33 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

TECHNICAL DATA MQ-9 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to carbon monoxide and CH₄, LPG.
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide and CH₄, LPG in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	AC or DC
VH(H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	AC or DC
VH(L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	AC or DC
RL	Load resistance	Can adjust	
Rrr	Heating resistance	33Ω ±5%	Room temperature
TH(H)	Heating time (high)	60±1 seconds	
TH(L)	Heating time (low)	90±1 seconds	
Ps	Heating consumption	Less than 340mw	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20℃...+50℃	
Tas	Storage temperature	-20℃...+50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
α (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature -20℃±2℃ relative humidity 65%±5% Vc:5V±0.1V VH:5V±0.1V VH:1.4V±0.1V	RL:10KΩ ±5%	
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range:20ppm-2000ppm carbon monoxide 500ppm-10000ppm CH ₄ 500ppm-10000ppm LPG	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-9 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B). sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater

provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-9 have 6 pins, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

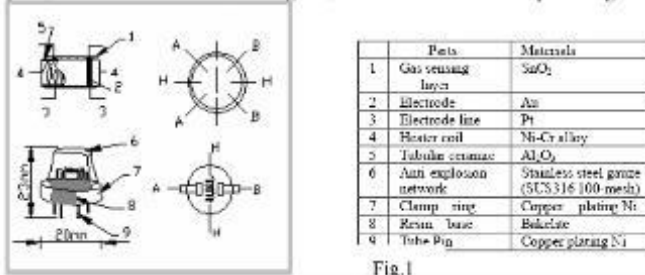
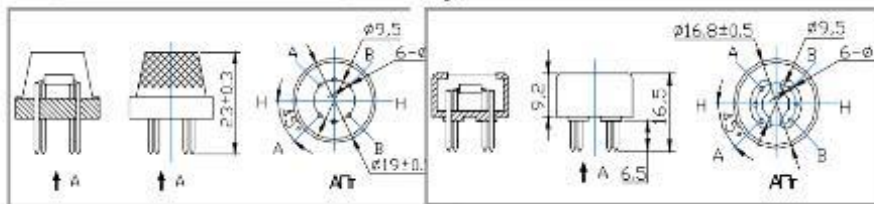
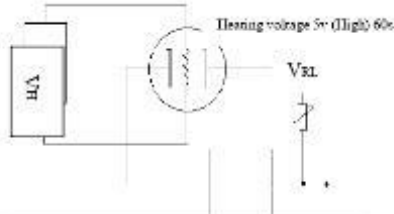


Fig.1



Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-9 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.



Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

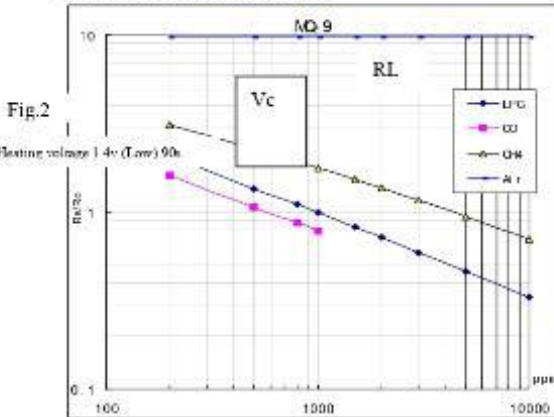


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-9

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-9 for several gases.

in their: Temp: 20℃,
Humidity: 65%,
O₂ concentration 21%
RL=10kΩ

R₀: sensor resistance at 1000ppm LPG in the clean air.

R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

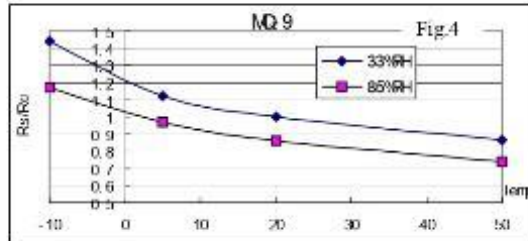


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-9 on temperature and humidity.

R_0 : sensor resistance at 1000ppm LPG in air at 33%RH and 20degree.

R_s : sensor resistance at 1000ppm LPG at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R_s is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R_L which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s/R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

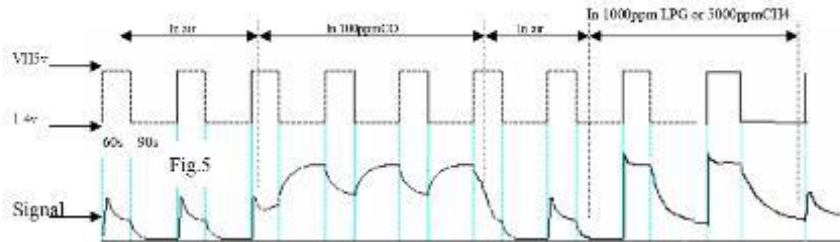


Fig. 5 shows alterable situation of R_L signal output measured by using Fig. 2 circuit output signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO) or CH_4 , output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-9 gas sensitive components is made of SnO_2 with stability. So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-9 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm and 5000ppm CH_4 or 1000ppm LPG concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 $K\Omega$ (10 $K\Omega$ to 47 $K\Omega$).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep time of preheating through electricity is over 48 hours.
- Adjust the load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a CH_4 or LPG concentration at the end point of 60 seconds.

Anexo 4: Instrucciones de uso para la obtención de valores de referencia para el equipo de muestreo

ENCENDIDO

1. Conecta el cable de corriente del equipo de cómputo a la toma eléctrica de 110 - 120 V.
2. Conecta el cable de la fuente de poder del equipo de medición a la toma eléctrica de 110 - 120 V.
3. Verifica que el equipo de medición esté conectado al equipo de cómputo a través del cable USB de la tarjeta Arduino (cable USB 2.0 tipo A).
4. Encienda el equipo de cómputo oprimiendo el botón de Encendido/Apagado del equipo

OPERACIÓN

Calentamiento de los sensores y obtención de datos de referencia para aire, agua y etanol.

1. Una vez encendido el equipo de cómputo, activa la rutina de muestreo de LabVIEW.
2. En la sección "Serial Port" se debe elegir el puerto USB donde se encuentra conectado la tarjeta Arduino, para que funcione correctamente.
3. En la sección "Calentar sensores" se escribe el tiempo de calentamiento en 60 minutos
4. En la sección "Monitor de sensores" se escribe el tiempo de lectura y monitoreo de los sensores en 60 minutos.
5. En la ventana del software LabVIEW, se oprime el botón "Run" para que empiece a correr el programa de medición. NOTA: Se debe monitorear que el equipo de medición no pierda conexión con el equipo de cómputo. En caso de que esto ocurra, se debe desconectar y volver a conectar el cable USB del lado del equipo de cómputo.
6. Mientras se cumple el tiempo de calentamiento, se deben preparar pequeñas bandejas de papel de aluminio para colocar las muestras de etanol y agua dentro del prototipo de muestreo y arriba de la placa Peltier.

Lectura de sensores para aire, agua y etanol.

1. Una vez que el tiempo de calentamiento ha transcurrido, se deja que el equipo realice las primeras lecturas durante 10 minutos, para tener una línea de control.
2. En el caso del aire consiste en encender el equipo de medición y realizar la medición durante 10 minutos o durante el tiempo deseado. Para el caso de los líquidos (etanol de 70 grados y agua), se colocan 5 mL en una pequeña bandeja hecha con papel aluminio al prototipo a través de la puerta frontal del prototipo. Una vez finalizada la prueba de medición se debe verificar que el equipo se encuentre seco.
3. Se deja el equipo realice las mediciones de las muestras durante 10 minutos (o el tiempo de medición deseado).
4. Se saca la muestra del prototipo y se deja que el equipo se estabilice durante 10 minutos.

Parada del equipo y obtención de datos de lectura de referencia para aire, agua y etanol.

1. Finalizado el tiempo de lectura del equipo de medición, se detiene la lectura presionando el botón "Stop" en la ventana del software LabVIEW
2. Se busca la carpeta de alojamiento de los datos en el escritorio del equipo de cómputo. En esa carpeta se alojan los datos obtenidos se encuentran en formato .csv, el cual es compatible con el programa Excel y pueden transferirse a una memoria USB o almacenarse en otra carpeta en el equipo de cómputo para su posterior análisis.

APAGADO

1. Se cierra la ventana del programa de LabVIEW
2. Se apaga el equipo de cómputo
3. Se desconecta el cable de corriente de CA del equipo de cómputo a la toma eléctrica de 110V.
4. Se desconecta el cable de la fuente de poder del prototipo de muestreo a la toma eléctrica de 110V.

Anexo 5: Instrucciones de uso para la obtención de valores de medición de las muestras de interés con el equipo de medición

ENCENDIDO

1. Conecta el cable de corriente del equipo de cómputo a la toma eléctrica de 110 - 120 V.
2. Conecta el cable de la fuente de poder del equipo de medición a la toma eléctrica de 110 - 120 V.
3. Verifica que el equipo de medición esté conectado al equipo de cómputo a través del cable USB de la tarjeta Arduino (cable USB 2.0 tipo A, color azul).
4. Encienda el equipo de cómputo oprimiendo el botón de Encendido/Apagado del equipo

OPERACIÓN

Calentamiento de los sensores y obtención de datos de referencia para la muestra de interés

1. Una vez encendido el equipo de cómputo, activa el programa de LabVIEW.
2. En la sección "Serial Port" se debe elegir el puerto USB donde se encuentra conectado la tarjeta Arduino, para que funcione correctamente.
3. En la sección "Calentar sensores" se escribe el tiempo de calentamiento en 60 minutos (1 hora)
4. En la sección "Monitor de sensores" se escribe el tiempo de lectura y monitoreo de los sensores en 30 minutos, o el tiempo deseado
5. En la ventana del software LabVIEW, se oprime el botón "Run" para que empiece a correr el programa de medición.

NOTA: Se debe monitorear que el equipo de medición no pierda conexión con el equipo de cómputo. En caso de que esto ocurra, se debe desconectar y volver a conectar el cable USB del lado del equipo de cómputo.

6. Mientras se cumple el tiempo de calentamiento, se deben preparar pequeñas bandejas de papel de aluminio para colocar las muestras de interés dentro del equipo de muestreo y arriba de la placa Peltier.

Lectura de sensores para la muestra de interés

1. Una vez que el tiempo de calentamiento ha transcurrido, se deja que el equipo realice las primeras lecturas durante 10 minutos, para tener una línea de control.
2. Para el caso de muestras sólidas se colocan 5 g de la muestra de interés en una pequeña bandeja de aluminio, se coloca dentro del equipo de medición a través de su puerta frontal y se realiza la medición. Para el caso de muestras líquidas se colocan 5 mL de la muestra de interés en una pequeña bandeja hecha con papel aluminio, se coloca dentro del equipo de medición a través de su puerta frontal y se realiza la medición
3. Se deja el equipo realice las mediciones de las muestras durante 10 minutos (o el tiempo de medición deseado).
4. Se saca la muestra del equipo, se verifica que el equipo se encuentre limpio y seco, y se deja que el equipo se estabilice durante 10 minutos.

Obtención de datos de lectura de referencia para las muestras de interés

1. Ya finalizado el tiempo de lectura del prototipo, se procede a detener la lectura, con el botón "Stop"
2. Finalmente, se obtienen los archivos Excel tipo .csv, para su análisis

APAGADO

5. Se cierra la ventana del programa de LabVIEW
6. Se apaga el equipo de cómputo
7. Se desconecta el cable de corriente de CA del equipo de cómputo a la toma eléctrica de 110V.
8. Se desconecta el cable de la fuente de poder del prototipo de muestreo a la toma eléctrica de 110V.