

## Prototipo de nariz electrónica para la detección de diferentes gases. Prototype of electronic nose for the detection of different gases.

Ulises Eduardo García-Aranda <sup>a,b</sup>, Francisco Jacob Ávila-Camacho <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Centro de Cooperación Academia-Industria, Tecnológico Nacional de México/ TES de Ecatepec, 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México.

<sup>b</sup> División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México/ TES de Ecatepec, 55210, Ecatepec de Morelos, Estado de México.

### Resumen

En el presente trabajo se presentará una corta, pero precisa investigación sobre el desarrollo de un prototipo de nariz electrónica para la detección de sustancias por medio de los gases que desprendan las mismas. Para poder llevar a cabo esto, se debió de tener claro el por qué se escogió cada sensor de gas (MQ) y la mayoría de los materiales utilizados para el desarrollo de este prototipo. Apegado a esto se planteará la idea del como se logró llevar a cabo este proyecto, ya que se no se contó con información previa tal como antecedentes o algún informe técnico, el cual nos hubiera ayudado para poder llevarlo a cabo, más sin embargo y conforme a las necesidades solicitadas, se tuvo que buscar la solución de la mejor manera posible, esto por la cantidad de sensores de gas (MQ) que se utilizaron en la elaboración de este prototipo (6 sensores MQ.) Se utilizó esta cantidad de sensores ya que antes de empezar a elaborar el proyecto, se tuvo que llevar a cabo una investigación previa y en esta investigación nos dimos cuenta de que, se tendría que utilizar una variedad de diferentes sensores, esto porque buscamos obtener datos más precisos de todos los diferentes tipos de muestras que nos serán brindadas por el personal autorizado.

**Palabras clave:** Detección de sustancias, sensores de gas, sustancias, muestras, inteligencia artificial.

### Abstract

In the present work, a short but precise investigation will be presented on the development of a prototype of an electronic nose for the detection of substances through the gases they give off. In order to carry out this, it must have been clear why each gas sensor (MQ) and most of the materials used for the development of this prototype were chosen. Attached to this, the idea of how this project was carried out will be raised, since there was no prior information such as background or any technical report, which would have helped us to be able to carry it out, however and according to To meet the requested needs, the solution had to be found in the best possible way, due to the number of gas sensors (MQ) that were used in the development of this prototype (6 MQ sensors.) This number of sensors was already used that before starting to develop the project, a prior investigation had to be carried out and, in this investigation, we realized that a variety of different sensors would have to be used, this because we sought to obtain more precise data from all the different types of samples that will be provided to us by authorized personnel.

**Keywords:** Detection of substances, gas sensors, substances, samples, artificial intelligence.

### 1. Introducción

Con el objetivo de mejorar la seguridad y comodidad de la vida humana, se han creado robots para sustituir al ser humano en ciertas tareas. Estos robots han sido equipados con dispositivos que imitan algunos sentidos humanos, como la visión, audición, olfato y gusto. Este artículo se enfoca en las narices electrónicas, revisando su origen, funcionamiento, aplicaciones y relevancia como dispositivos que proporcionan información olfativa a sistemas de control.

La nariz electrónica, tradicionalmente, se consta de el aroma de las diferentes muestras que se han analizado empleando técnicas de análisis sensorial y/o técnicas cromatográficas con sistemas de detección universal como la espectrometría de masas (MS) o la ionización de llama (FID.) Estas últimas han sido, las que han permitido cuantificar los componentes individuales que constituyen la fracción volátil de las sustancias. Los últimos años se han utilizado técnicas como como la cromatografía de gases con la detección olfatométrica (GCO) han complementado los resultados de las técnicas más clásicas, puesto que se han permitido cuantificar los componentes volátiles, pero, además,

\*Autor para la correspondencia: josejuan@dominio1.edu.mx

**Correo electrónico:** 201811119@tese.edu.mx (Ulises-Eduardo García-Arana), fjacobavila@tese.edu.mx (Francisco Jacob Ávila-Camacho).

identifican aquellos que aportan alguna nota aromática a las muestras en cuestión.[16] La GCO se podría considerar un punto intermedio entre el análisis sensorial y las técnicas cromatográficas. Esta técnica, como técnica cromatográfica, adolece de una falta rapidez analítica que la hace poco útil en control de calidad. La nariz electrónica, si posee esta característica, ya que procesa la fracción volátil de las sustancias (por medio de las partículas que estas desprenden), de la misma forma que lo hace la nariz humana, esto permite clasificar las diferentes sustancias con forme a su similitud en partículas, aunque no determinar la composición de dicha sustancia. Las narices electrónicas fueron desarrolladas en un comienzo para reemplazar a los paneles de expertos en la clasificación de diferentes sustancias, debido a que estos se consideran costosos, difíciles de transportar, y algunas veces subjetivos, debido a que sus valoraciones se pueden ver afectadas por el cansancio, estado anímico, el clima y otros factores externos.[1]

La nariz electrónica se puede definir como un instrumento dotado de sensores químicos y de un programa químico métrico de reconocimiento de modelos, la cual es capaz de reconocer y comparar olores individuales o complejos. De igual manera que lo hace el sistema olfativo humano, ya que su objetivo es el relacionar las partículas que se percibe junto con una respuesta que, tras esta ser almacenada en la memoria, servirá como modelo en ulteriores análisis (Figura 1.)

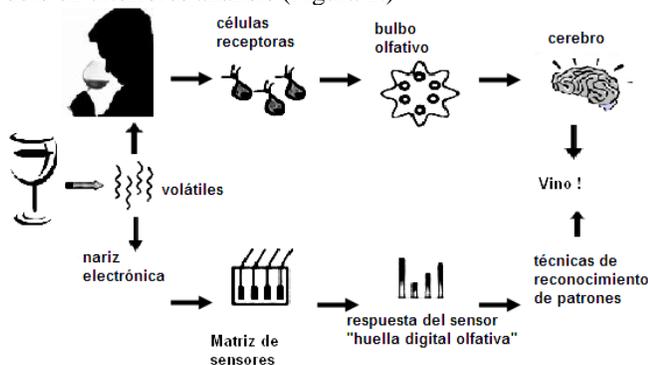


Figura 1. **Nariz humana y nariz electrónica.**[20]

La mayoría de los sistemas de narices electrónicas que existen en el mercado consta de tres partes diferenciadas. La primera de estas consta en la toma de muestras, que, con las características de volatilidad de estas, se fundamentara en la técnica del espacio de la cabeza (headspace) estático. Los volátiles son concentrados por calentamiento en la fase de vapor que suele encontrarse sobre las muestras (líquidas o sólidas) suelen ser introducidas en el sistema de sensores, el cual se encargara de medir las diferentes propiedades físico-químicas que componen las diferentes muestras, la cual convierte el olor en la señal medible con la cual un ordenador será el encargado de procesar mediante técnicas químico métricas, dando como resultado un gráfico que nos representara la huella digital de dicho olor.

Alguna de las diferencias más fundamentales entre los diferentes sistemas de olfato electrónico (nariz electrónica) suele residir en la tipología de los sensores que serán empleados. Los más consolidados son los llamados sensores de gas. Estos sensores funcionan con baterías (sistemas multisensorial) y están constituidos por diferentes materiales:

- Óxidos metálicos.

- Polímeros conductores.
- Cristales piezoeléctricos.
- Etc.

Estos suelen modificar sus propiedades electrónicas una vez interactúan con los compuestos volátiles, esto proporcionara la huella olfativa de la fracción volátil que han percibido.[18]

## 2. Origen de la nariz electrónica

Las narices electrónicas, dispositivos que emulan el sentido del olfato humano, comenzaron a desarrollarse en la década de 1960. La compañía Bacharach Inc. creó uno de los primeros dispositivos conocidos como "Sniffer", aunque este no se consideró una nariz electrónica porque solo tenía un sensor de gas. En los años 80, el concepto de nariz electrónica se formalizó gracias al trabajo de dos grupos de investigadores: uno en la Universidad de Warwick en el Reino Unido y otro en el Argonne National Laboratory (ANL) en Estados Unidos.[16]

En 1982, Krishna Persaud y George Dodd, de la Universidad de Warwick, realizaron la primera publicación sobre narices electrónicas, centrando sus estudios en el olfato biológico. Utilizaron sensores semiconductores de óxidos metálicos y posteriormente expandieron su investigación a sensores basados en polímeros conductores. Al mismo tiempo, el grupo de ANL desarrolló un aparato para detectar, identificar y medir una variedad de productos químicos transportados por ferrocarriles, barcos y camiones.

### 2.1. Evolución y crecimiento de las narices electrónicas

La definición de nariz electrónica como un sistema inteligente capaz de analizar y reconocer aromas simples o complejos fue popularizada por Gardner y Bartlett en 1999.[5] Este desarrollo dio lugar a la fabricación comercial de narices electrónicas, que comenzaron a aparecer en el mercado a principios de los años 90, con sistemas como el Modular Sensor System (MOSES I.) A lo largo de los años, estas tecnologías han sido empleadas en diversos campos, incluyendo la industria automotriz, el monitoreo ambiental, el diagnóstico médico y el procesamiento de alimentos.

Aunque se ha observado una disminución en el número de empresas dedicadas a la fabricación de narices electrónicas debido a fusiones, especializaciones o desapariciones por razones de mercado, el uso de estas tecnologías se ha expandido. Inicialmente, fueron desarrolladas para reemplazar a los paneles de expertos en la clasificación de aromas, quienes a menudo dependían de costosos y complejos equipos como cromatógrafos de gases y espectrómetros de masas.

En la actualidad, las narices electrónicas no solo se utilizan para clasificar aromas, sino también para detectar olores, lo que ha ampliado su importancia y aplicación en sectores como la agroindustria, el medio ambiente, la seguridad y la medicina. La tecnología de nariz electrónica ha avanzado significativamente, incorporándose en robots móviles para realizar tareas en condiciones peligrosas para los humanos, como la detección de sustancias explosivas y tóxicas.

### 3. Funcionamiento de las narices electrónicas

Para comprender cómo funcionan los sistemas de olfato electrónico, es útil empezar con una descripción del sistema de olfato biológico. El sistema olfativo humano es extremadamente complejo y ha sido objeto de estudios detallados, culminando en el Premio Nobel de Fisiología o Medicina otorgado a Richard Axel y Linda B. Buck en 2004 por sus investigaciones sobre los receptores olfativos y la organización del sistema olfativo.

El olfato humano se divide entre la nariz y el cerebro. Las moléculas aromáticas se desplazan a través de las cavidades nasales y alcanzan el epitelio olfatorio, una región de la mucosa nasal del tamaño de una estampilla que contiene entre 10 y 20 millones de neuronas olfativas. Las dendritas de estas neuronas se extienden hacia la superficie epitelial, donde se unen a receptores específicos para ciertos olores, similar a una llave en una cerradura. Cuando una molécula volátil se une a su receptor, se genera un impulso nervioso mediante la liberación de una proteína G. Los impulsos viajan por los axones hasta un punto específico en el bulbo olfatorio del cerebro, en áreas llamadas glomérulos, permitiendo al cerebro identificar el tipo de receptor estimulado.[20]

Una vez que la información llega a varias áreas del cerebro, se envían señales a otras partes del cuerpo para activar respuestas emocionales y físicas, como disfrutar de un alimento delicioso o reaccionar ante un peligro.

Cualquier hipótesis sobre cómo se codifica y transmite la información olfativa debe alinearse con varios aspectos de la percepción humana. Primero, "el aroma" no se refiere a una característica molecular específica de la sustancia; por ejemplo, aunque todos los compuestos volátiles con azufre son "sulfurosos", no todos huelen igual. Además, el aroma es una experiencia holística: mezclas complejas como el café provocan una percepción simple, similar a una molécula única. Los humanos tienen una capacidad limitada para discriminar componentes de mezclas complejas y no pueden distinguir más de tres o cuatro componentes por separado. La identificación de muchos volátiles no cambia con la concentración, manteniendo una constancia perceptual. El sistema olfativo tiene conexiones directas con estructuras cerebrales involucradas en la memoria y las emociones, como el hipocampo, el tálamo y la corteza frontal.

Inspirados en esta estructura, los sistemas de olfato artificial imitan la nariz humana con receptores no específicos (sensores) seguidos por procesamiento de señales. El concepto de nariz artificial fue propuesto en 1982 en la Universidad de Warwick por Persaud y Dodd. Los sistemas de reconocimiento de aromas llegaron al mercado a principios de los años 90 con el sistema Modular Sensor System - MOSES I, y desde entonces, se han desarrollado muchas narices electrónicas usadas en diversos campos como la automoción, monitoreo ambiental, diagnóstico médico y procesamiento de alimentos.[16]

Antes de la nariz electrónica, el análisis instrumental de aromas (mezclas de volátiles en el espacio gaseoso de un recipiente, llamado headspace) se realizaba identificando y cuantificando compuestos individuales tras una separación, por ejemplo, cromatografía de gases – espectrometría de masas (GC-MS) o cromatografía de gases – detección de ionización de llama (GC-FID).

#### 3.1. Análisis de datos por métodos tradicionales

Al momento de hablar sobre el análisis de olores podemos hacer alusión a los métodos tradicionales, los cuales implicaban la identificación y cuantificación de los compuestos volátiles individuales. Estos métodos eran complejos, costosos y requerían equipos sofisticados. A continuación, se describirán estos métodos y su evolución hacia la tecnología de la nariz electrónica.[20]

- **Cromatografía de gases (GS):** La cromatografía de gases es una técnica utilizada para separar y analizar compuestos que pueden vaporizarse sin descomponerse. Esta técnica implica el uso de un gas portador que transporta la muestra a través de una columna, donde los componentes se separan y luego se detectan. GC es ampliamente utilizado debido a su alta resolución y capacidad de identificar y cuantificar compuestos en mezclas complejas.

- **Espectrometrías de masas (MS):** A menudo combinada con la cromatografía de gases (GC-MS), la espectrometría de masas permite la identificación de compuestos mediante la medición de su relación masa-carga. GC-MS es una técnica poderosa que proporciona información detallada sobre la estructura molecular de los compuestos, permitiendo una identificación precisa. Esta técnica es fundamental en la investigación y el control de calidad de alimentos, fragancias y productos químicos.

- **cromatografía de gases con detección por ionización de llama (GC-FID):** La detección por ionización de llama es otra técnica utilizada junto con la cromatografía de gases (GC-FID.) En esta técnica, los compuestos separados por la GC se queman en una llama de hidrógeno y aire, produciendo iones que generan una corriente medible. Esta técnica es especialmente útil para la cuantificación de hidrocarburos y otros compuestos orgánicos volátiles.

Estos métodos tradicionales presentan varias limitaciones, las cuales son:

- **Complejidad y costo:** Requieren equipos sofisticados y personal altamente capacitado, lo que incrementa los costos operativos.

- **Tiempo de análisis:** Los procesos de separación e identificación pueden ser lentos, lo que no es ideal para aplicaciones que requieren resultados rápidos.

- **Subjetividad:** En muchos casos, los análisis de sensorial complementarios realizados por paneles de expertos pueden introducir variabilidad y subjetividad en el resultado.

### 4. Sensores de gas (MQ)

En elaboración de este proyecto nos dimos a la búsqueda de buscar la mayoría de los sensores de gas utilizados en proyectos similares, ya que en el mercado existe una gran variedad de sensores que se podrían utilizar, más sin embargo hemos optado por utilizar sensores que fueran más accesibles en cuanto al costo, pero que a su vez nos brindaran la misma funcionalidad, en su mayoría.

El objetivo de la sección es indicar qué significan los hallazgos identificados en la sección de resultados y cómo estos se relacionan con el conocimiento actual.

Tabla 1. Sensores, sus compuestos y voltaje. Elaboración propia

Sensores	Compuestos	Voltaje
MQ-2	Metano, butano, GLA, humo	5V
MQ-3	Alcohol, etanol, humo	5V
MQ-4	Metano, gas natural comprimido (GNP)	5V
MQ-7	Monóxido de carbono	Alternado 5V y 1.4V
MQ-8	Hidrogeno	5V
MQ-135	Benceno, alcohol, humo, calidad del aire	5V

En la tabla anterior se agregaron los sensores de gas que se utilizaron en la elaboración de este proyecto, así como poca información sobre los compuestos químicos que cada sensor es capaz de detectar y de la misma forma el voltaje de cada uno de estos. A continuación, se agregará una imagen de la estructura de los sensores de gas MQ, la estructura es la misma en todos los sensores de este tipo.

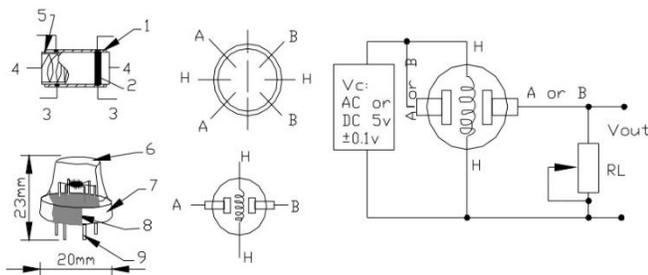


Figura 2. Estructura de los sensores MQ.[9]

#### 4.1. Sensor MQ2

El sensor MQ-2 es uno de los sensores de gas más utilizados en la detección de gases combustibles y humo. Su popularidad se debe a su alta sensibilidad, bajo costo y facilidad de uso. Este sensor se emplea en una variedad de aplicaciones, incluyendo sistemas de seguridad contra incendios y detección de fugas de gas.

El sensor MQ-2 está compuesto principalmente por un material semiconductor de dióxido de estaño (SnO<sub>2</sub>.) El dióxido de estaño es conocido por su capacidad para cambiar su resistencia en presencia de gases reductores. Este material se encuentra depositado sobre un sustrato de cerámica y está cubierto por una malla de acero inoxidable que actúa como filtro para evitar la entrada de polvo y otras partículas no deseadas.[9]

El sensor también incluye:

- Electrodo: Dos electrodos que están en contacto con el material semiconductor y permiten medir la resistencia del sensor.

- Calentador: Un elemento calefactor (generalmente una bobina de nicromo) que mantiene una temperatura óptima para la reacción de los gases con el material semiconductor.

El funcionamiento del sensor MQ-2 se basa en la variación de la resistencia eléctrica del material semiconductor (SnO<sub>2</sub>) en presencia de gases combustibles. A continuación, se describe el proceso:

- Calentamiento: El elemento calefactor integrado en el sensor calienta el dióxido de estaño a una temperatura específica, generalmente alrededor de 300-400°C. Este calentamiento es crucial para que las reacciones químicas entre el gas y el material semiconductor ocurran de manera efectiva.

- Absorción de Gases: Cuando los gases objetivo (como metano, propano, GLP, etc.) están presentes en el entorno, son absorbidos por la superficie del dióxido de estaño.

- Reacción Química: Los gases reductores reaccionan con el oxígeno adsorbido en la superficie del SnO<sub>2</sub>, lo que resulta en la liberación de electrones en el material semiconductor. Esta reacción reduce la resistencia del sensor.

- Medición de Resistencia: La variación en la resistencia del sensor es medida por los electrodos. Esta variación se traduce en una señal eléctrica que puede ser procesada para determinar la concentración del gas presente.

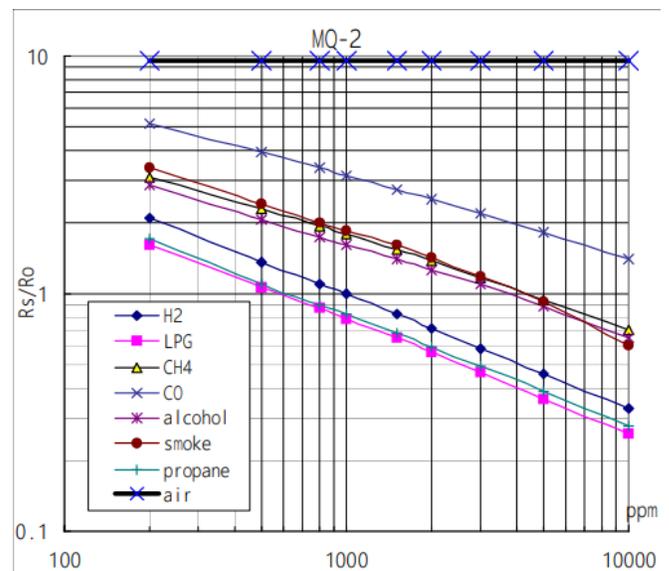


Figura 3. Características de sensibilidad del sensor MQ-2.[9]

#### 4.2. Sensor MQ-3

El sensor MQ-3 está basado en un material semiconductor de óxido metálico, específicamente dióxido de estaño (SnO<sub>2</sub>.) Este material es sensible a varios gases y su resistencia eléctrica varía en presencia de estos. La estructura del sensor incluye:

- Elemento Sensor: Dióxido de estaño (SnO<sub>2</sub>) dopado.
- Calentador Interno: Mantiene el sensor a una temperatura óptima para la reacción con los gases.
- Electrodo: Conectan el material sensor al circuito externo para medir cambios en la resistencia.
- Carcasa: Protege los componentes internos y permite el paso de gases al elemento sensor.

El funcionamiento del MQ-3 se basa en la variación de la resistencia del material semiconductor cuando se expone a diferentes gases. Este sensor está diseñado para ser especialmente sensible al alcohol (etanol.) El proceso de detección incluye:

- **Adsorción de Gases:** Cuando las moléculas de gas entran en contacto con la superficie del dióxido de estaño, son adsorbidas.
- **Reacción Química:** Las moléculas de gas reaccionan con los iones de oxígeno adsorbidos en la superficie del SnO<sub>2</sub>, lo que provoca una transferencia de electrones.
- **Cambio en Resistencia:** Esta transferencia de electrones causa un cambio en la resistencia eléctrica del material. El cambio en resistencia es proporcional a la concentración del gas presente.
- **Lectura de Señal:** Los electrodos conectados al SnO<sub>2</sub> permiten medir este cambio en resistencia, y la señal eléctrica correspondiente se procesa para determinar la concentración del gas.[10]

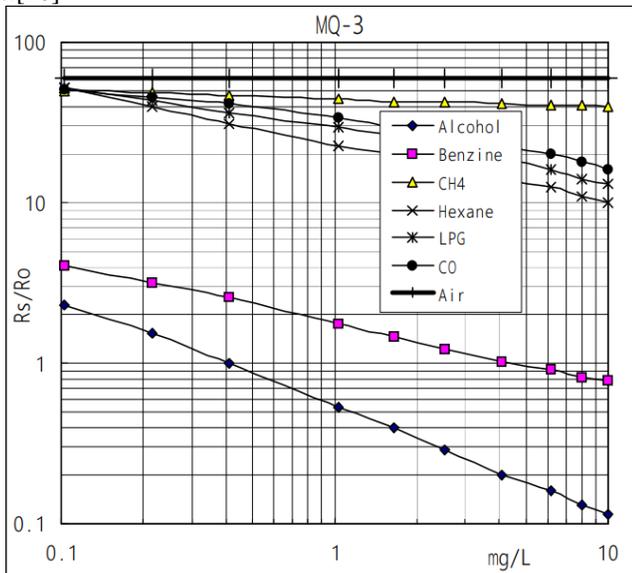


Figura 4. Características de sensibilidad del sensor MQ-3.[10]

#### 4.3. Sensor MQ-4

El sensor de gas MQ-4 está compuesto por un material semiconductor de óxido metálico, principalmente dióxido de estaño (SnO<sub>2</sub>.) Este material es sensible a los gases combustibles y su resistencia cambia en presencia de estos gases. La estructura del sensor incluye una capa de SnO<sub>2</sub> depositada sobre un sustrato de cerámica que se calienta internamente mediante una bobina de calentamiento, lo que facilita la interacción entre los gases y la superficie del material semiconductor.

El principio de funcionamiento del MQ-4 se basa en la variación de la resistencia eléctrica del dióxido de estaño en presencia de gases combustibles. Cuando los gases combustibles como el metano (CH<sub>4</sub>) entran en contacto con la superficie del SnO<sub>2</sub>, interactúan con el oxígeno adsorbido en la superficie, cambiando la concentración de electrones libres en el material. Esto provoca una disminución en la resistencia del sensor. La variación de la resistencia es proporcional a la concentración de

gas en el entorno, lo que permite medir la concentración de gases específicos.

El sensor MQ-4 está diseñado para detectar principalmente gases inflamables, con una alta sensibilidad al metano (CH<sub>4</sub>.) Sin embargo, también puede detectar otros gases combustibles, aunque con menor sensibilidad.[11]

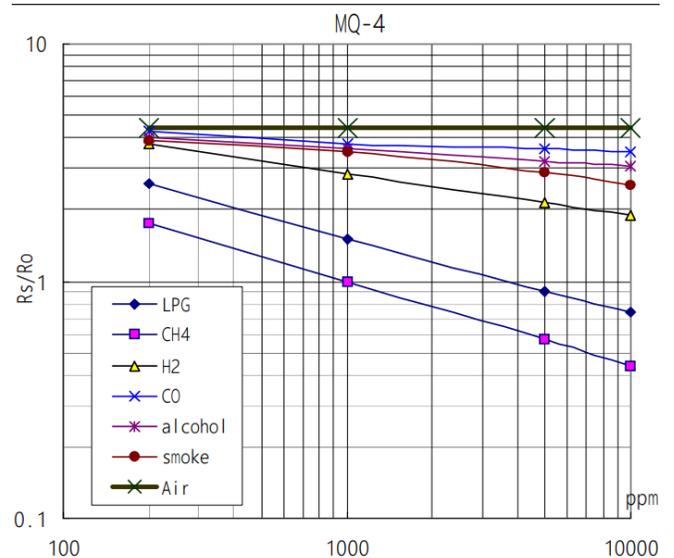


Figura 5. Características de sensibilidad del sensor MQ-4[11].

#### 4.4. Sensor MQ-7

El sensor MQ-7 está compuesto principalmente por un material semiconductor de dióxido de estaño (SnO<sub>2</sub>.) Este material es conocido por su alta sensibilidad a ciertos gases. La estructura interna del sensor incluye:

- **Elemento Sensor:** Basado en dióxido de estaño (SnO<sub>2</sub>), que es un material semiconductor que cambia su resistencia en presencia de gases.
- **Calentador:** Un componente que calienta el elemento sensor para mantener una temperatura constante, lo cual es crucial para la detección precisa.
- **Electrodos:** Conectados al elemento sensor para medir los cambios en la resistencia eléctrica.
- **Caja Protectora:** Generalmente hecha de metal, con aberturas que permiten el paso del gas, pero protegen el elemento sensor de daños físicos y contaminantes.

El sensor MQ-7 opera mediante un ciclo de calentamiento y enfriamiento para detectar el monóxido de carbono (CO) de manera más precisa. El funcionamiento se puede describir en los siguientes pasos:

- **Calentamiento Inicial:** El calentador interno del sensor eleva la temperatura del dióxido de estaño a aproximadamente 200°C. Durante este ciclo, el sensor se limpia de contaminantes.
- **Enfriamiento Controlado:** Después del calentamiento, el sensor se enfría a alrededor de 50°C. En esta fase, el dióxido de estaño es sensible a la presencia de monóxido de carbonó.

El sensor MQ-7 está optimizado para la detección de monóxido de carbono (CO.) Sin embargo, también puede

responder a otros gases en menor medida debido a la naturaleza de su material sensor.[12]

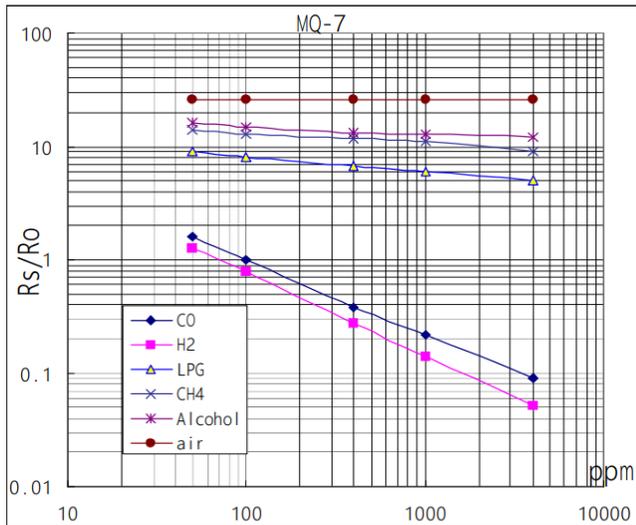


Figura 6. Características de sensibilidad del sensor MQ-7[12].

#### 4.5. Sensor MQ-8

El sensor de gas MQ-8 está diseñado específicamente para la detección de hidrógeno (H2.) Está compuesto por varios componentes clave que le permiten detectar eficazmente este gas:

**Material Sensor:** El elemento principal del sensor MQ-8 es el dióxido de estaño (SnO2.) Este material semiconductor es altamente sensible a la presencia de hidrógeno.

**Elemento Calefactor:** Dentro del sensor, hay un pequeño calentador que mantiene el material sensor a una temperatura óptima para la reacción con los gases objetivo.

**Electrodos:** Los electrodos están conectados al material sensor y permiten medir los cambios en la resistencia eléctrica cuando los gases interactúan con el SnO2. [13]

**Sustrato:**

El material sensor y los electrodos están montados en un sustrato cerámico que proporciona estabilidad y soporte mecánico.

El funcionamiento del sensor MQ-8 se basa en la variación de la resistencia del material semiconductor cuando entra en contacto con el hidrógeno. A continuación, se describe el proceso en detalle:

**Adsorción de Gas:** Cuando el hidrógeno está presente en el entorno del sensor, las moléculas de H2 se adsorben en la superficie del dióxido de estaño.

**Cambio de Resistencia:** La adsorción de hidrógeno provoca una reacción química en la superficie del SnO2, que resulta en un cambio en la conductividad eléctrica del material. Específicamente, la presencia de hidrógeno reduce la resistencia del material semiconductor.

- **Medición Eléctrica:** Los electrodos miden este cambio en la resistencia. El cambio en la resistencia se traduce en una señal eléctrica que puede ser procesada por un circuito electrónico para determinar la concentración de hidrógeno en el ambiente.

- **Calentamiento Controlado:** El elemento calefactor mantiene el sensor a una temperatura constante para asegurar una sensibilidad y tiempo de respuesta óptimos.

El sensor MQ-8 está optimizado para detectar hidrógeno, pero también puede responder a otros gases, aunque con menor sensibilidad.

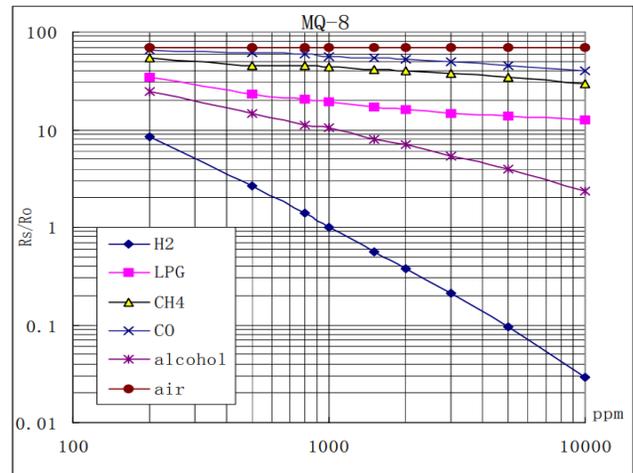


Figura 7. Características de sensibilidad del sensor MQ-8[13].

#### 4.6. Sensor MQ-135

El sensor MQ-135 es ampliamente utilizado para la monitorización de la calidad del aire debido a su capacidad para detectar una variedad de gases nocivos. Este sensor se basa en un material semiconductor de óxido metálico que reacciona en presencia de gases específicos, cambiando su resistencia eléctrica.

Está compuesto principalmente por un material semiconductor de dióxido de estaño (SnO2.) Este material es altamente sensible a varios gases, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones de detección de gases en ambientes diversos. Además del SnO2, el sensor incluye un calefactor integrado y electrodos de detección para medir la resistencia eléctrica del material semiconductor en presencia de gases.[14]

Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica del material semiconductor en respuesta a la presencia de gases. Cuando los gases objetivo entran en contacto con el material sensor, se producen reacciones químicas en la superficie del semiconductor, lo que provoca un cambio en su resistencia eléctrica. Este cambio se puede medir y analizar para determinar la concentración de los gases presentes.

El sensor incluye un circuito de calefacción que mantiene la temperatura del material semiconductor en un rango óptimo para asegurar la máxima sensibilidad y precisión. La resistencia del material se mide en condiciones de referencia y se compara con la resistencia en presencia de gases, permitiendo así la detección y cuantificación de los compuestos químicos.

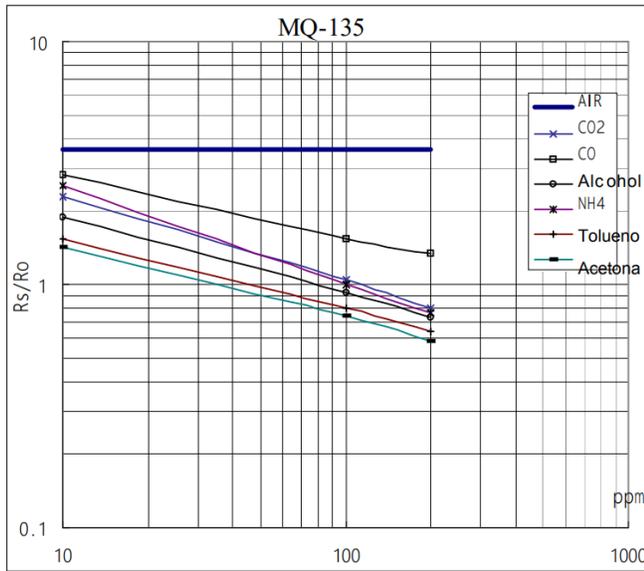


Figura 8. Características de sensibilidad del sensor MQ-135[14].

### 5. Desarrollo de prototipo

Los pasos previos que siguieron para el desarrollo de este prototipo constaron en:

- Buscaron los sensores mas aptos para este prototipo, ya que en el mercado existe una gran variedad de sensores de gas.
- Idearon la ide principal para el diseño del prototipo 3D
- Realizaron el diseño esquemático
- Comenzaron con el ensamblaje del prototipo

Al desarrollar este proyecto, tuvieron que realizar una investigación sobre el tema y cómo desarrollar este trabajo. Una vez teniendo esta investigación y una idea completa sobre el tema, pudieron pasar a la parte del ensamblaje de su prototipo. En este caso, utilizaron un microcontrolador Arduino. Al principio, optaron por un Arduino Uno, pero después de varias versiones del prototipo y debido a los errores que se presentaron en el desarrollo de estos, optaron por utilizar dos microcontroladores: un Arduino Giga (se podría haber utilizado un Arduino Mega) y un Arduino Uno. Esto fue porque al momento de agregar la pantalla LCD que utilizaron para este prototipo, comenzaron a tener incompatibilidades con el módulo de tarjeta SD, el cual es necesario para guardar y almacenar los datos de las diferentes muestras que los sensores de gas estarán analizando. En un futuro, estos datos almacenados en la memoria SD serán de gran ayuda para el machine learning (inteligencia artificial). Para evitar estos problemas, optaron por agregar un segundo Arduino para que, por medio de los puertos seriales (RX y TX) y se tenga comunicación entre los dos Arduinos.

El motivo por el cual pasaba este problema era por los puertos que utilizaban tanto el lector de tarjetas SD como la pantalla LCD, ya que estos dos módulos utilizaban los puertos de conexión SPI del primer Arduino. Una vez investigando más a fondo, pudieron observar que los Arduinos cuentan con dos diferentes formas de conectar los módulos a los puertos SPI. Si bien la conexión no era el problema, al momento de mandar los

datos de los módulos por separado, estos hacían lo que se había declarado en la parte de la programación. Sin embargo, al momento de mandar los datos juntos, la LCD no se pintaba y el lector de SD no se inicializaba, y mucho menos se guardaban los datos. Esto ocurría porque la transferencia de datos de ambos chocaba. Este fue el motivo principal por el cual optaron por utilizar dos microcontroladores conectados entre sí.

Conforme fue avanzando este proyecto, estuvieron observando varios problemas que causaron inconvenientes un tanto molestos. Uno de estos problemas fue el tema del almacenamiento interno del Arduino (memoria caché), otro fue el tema de la conexión por los puertos SPI, y por último, uno de los problemas que más se les complicó fue el del lector de tarjetas SD. Al agregar la memoria para el almacenamiento de los datos y al momento de querer inicializar el lector por medio de un programa en el IDE de Arduino, se toparon con el problema de que el lector de tarjetas no se inicializaba y marcaba errores que no sabían cómo solucionar. Tuvieron que investigar cómo solucionar estos problemas y, después de una larga investigación, pudieron darse cuenta de que el problema por el cual se marcaba error al inicializar el lector de memorias y al querer guardar los datos, era debido a la partición de la memoria SD. Una vez solucionado este percance, pudieron inicializar el lector de memorias y guardar los datos de los sensores.

Su prototipo está pensado para ser manejable, fácil de usar y portátil. Por eso, decidieron elaborar un diseño parecido al de una terminal de bancos. Obviamente, el prototipo tendrá cambios sustanciales para que sea acorde con sus necesidades y pueda cumplir con las demandas solicitadas. Al pensar en una terminal de tarjetas bancarias, se puede hacer alusión a algo fácil de manejar y con una portabilidad sencilla, ya que no es incómodo y es fácil de utilizar con una mano. Por eso, su idea fue crear algo similar, donde la pantalla LCD quedará en la parte superior. En la parte central, se agregarán dos botones que permitirán utilizar el menú para seleccionar entre la opción de visualizar los parámetros que envían los sensores MQ y la segunda opción para analizar la muestra de la caja de muestreo. Además de los dos botones, se agregará un interruptor para encender y apagar todo el circuito (Figura 9.)

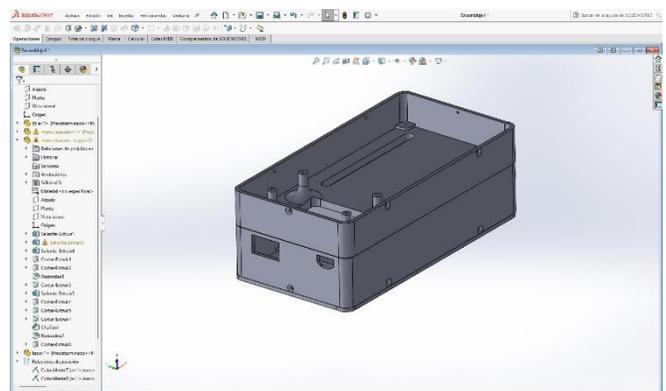


Figura 9. Modelo 3D del prototipo. Elaboración propia.

Para que pudieran llevar a cabo la conexión de todos los componentes que utilizaron, tuvieron que elaborar un diagrama de las conexiones de todos los componentes que utilizaron al

estar elaborando el prototipo. El diagrama de conexiones que elaboraron, lo elaboraron en proteus, donde realizaron la simulación de las conexiones de los componentes en los diferentes microcontroladores que utilizaron en este prototipo (Figura 10.)

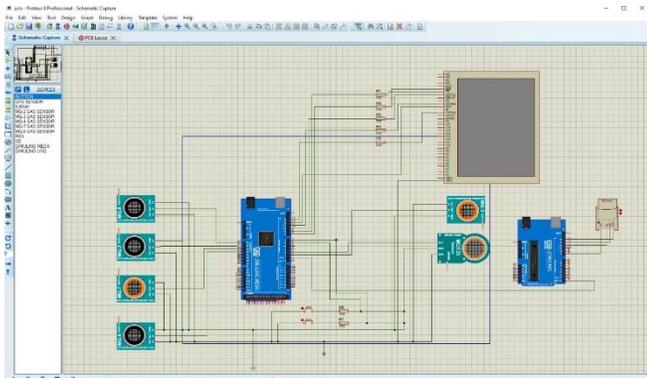


Figura 10. Diagrama de conexiones de los diferentes componentes utilizados. Elaboración propia.

En la parte interior del prototipo se encontrará toda la conexión de los microcontroladores, el Arduino Giga, Arduino uno, la conexión de los botones, el interruptor y los sensores de gas. El lector SD se busca que quede como en un celular con memoria extraíble, de modo que se pueda extraer sin necesidad de abrir todo el prototipo, y la memoria será colocada en la PC para comenzar con la parte de la inteligencia artificial. A continuación, se agregarán unas fotos de las diferentes versiones del prototipo:

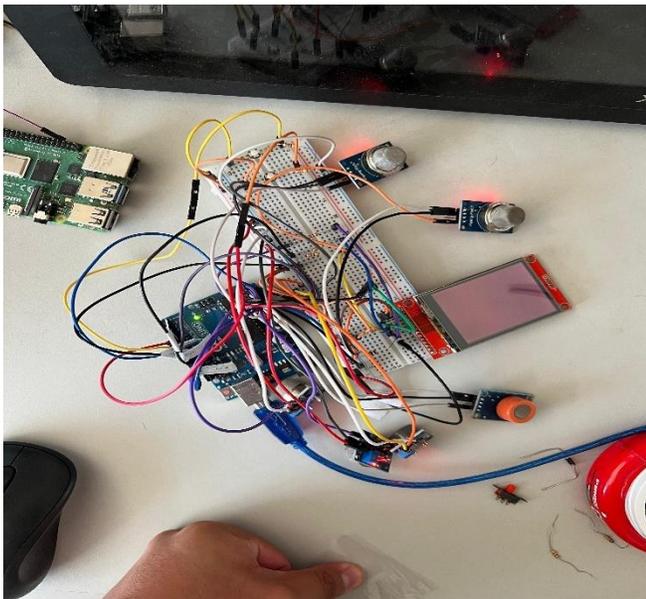


Figura 11. Primera versión del prototipo. Elaboración propia.

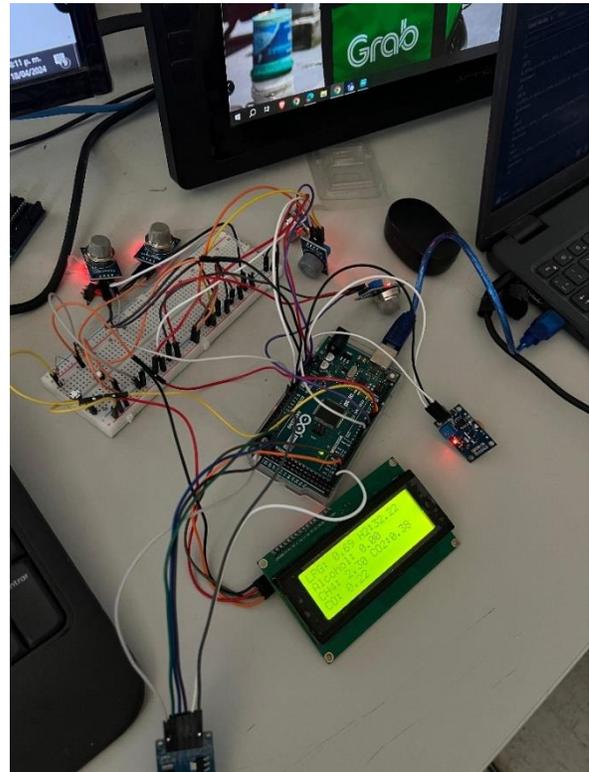


Figura 12. Segunda versión del prototipo. Elaboración propia.

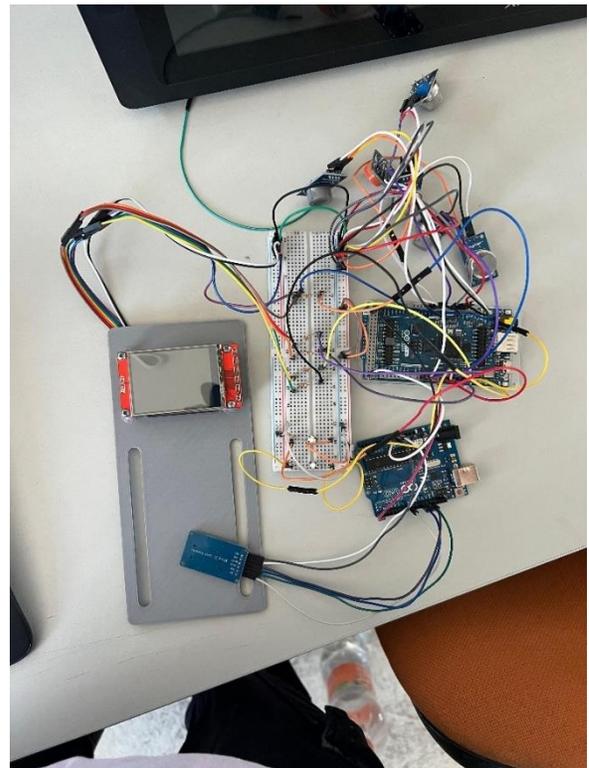


Figura 13. Tercera versión del prototipo. Elaboración propia.

Como se puede observar en las imágenes de las diferentes versiones del prototipo, tuvieron que hacer varios cambios a la idea inicial. En la primera imagen (Figura 11), la idea principal sobre el diseño del prototipo era conectar solamente los seis

sensores de gas junto a la pantalla LCD. Sin embargo, conforme las necesidades del proyecto fueron creciendo, optaron por añadir más componentes, y ahí fue cuando comenzaron la mayoría de los problemas. Antes de pensar en conectar el lector de memorias SD, planeaban pasar a la parte de machine learning, pero les indicaron que debían agregar el lector de memoria SD para el almacenamiento de los datos de las diferentes muestras utilizadas. Fue entonces cuando pasaron a la segunda versión del prototipo (Figura 12). En esta versión, y conforme a lo solicitado de agregar el lector de memorias SD, optaron por cambiar la pantalla LCD que estaban utilizando en la primera versión del prototipo, ya que tanto el lector de memoria SD como la pantalla LCD utilizaban los mismos puertos SPI, lo que provocaba incompatibilidades y errores. Pensando en esto, decidieron utilizar una pantalla I2C, ya que usa puertos diferentes y permite utilizar el lector de memorias SD sin problemas. Sin embargo, al terminar esta versión, se les informó que debían crear el prototipo con la pantalla LCD que se les había brindado al inicio del proyecto.

Fue entonces cuando pasaron a la tercera versión del prototipo (Figura 13). En esta versión, optaron por conectar dos microcontroladores (Arduino) mediante los puertos seriales. De esta manera, en el Arduino Uno se colocó únicamente el lector de memorias SD, y en el Arduino Giga, que en este caso sería el maestro, se conectó todo lo demás: sensores, botones, pantalla, etc. Esto se hizo para evitar problemas relacionados con los puertos SPI y así prevenir incompatibilidades en el prototipo. Aunque parece sencillo, tuvo sus inconvenientes, ya que tuvieron que considerar las diferentes formas de conexión maestro-esclavo que existen en Arduino, las cuales son las siguientes:

- **Conexión SPI:** Esta conexión utiliza los puertos SPI del Arduino y nos es contraproducente porque utiliza los puertos mosi, miso y sck, esto nos impediría conectar alguno de los dos módulos que utilizaremos.
- **Conexión i2c:** Esta conexión es la que más nos ayudaría para la conexión entre nuestros dos microcontroladores, ya que utiliza unos puertos que no utilizamos en nuestros microcontroladores, el único problema con esta conexión es su forma de programar y declarar ya que se tiene que realizar un cambio enorme a toda nuestra logia de programación.
- **Conexión serial:** Por último, tenemos la conexión por medio de los puertos seriales de nuestro microcontrolador (TX y RX), estos dos puertos sirven para tener una conexión más sencilla de programar y sin problemas en la conexión ya que no utilizamos estos dos puertos, además que la conexión serial también nos sirve para mandar datos desde nuestro maestro y que lo reciba el esclavo y viceversa.

El optado por esta solución les fue de gran ayuda, ya que si bien utilizaron más material del que tenían previsto, mas sin embargo fue la única manera que tuvieron para poder elaborar la idea que se les fue asignada.

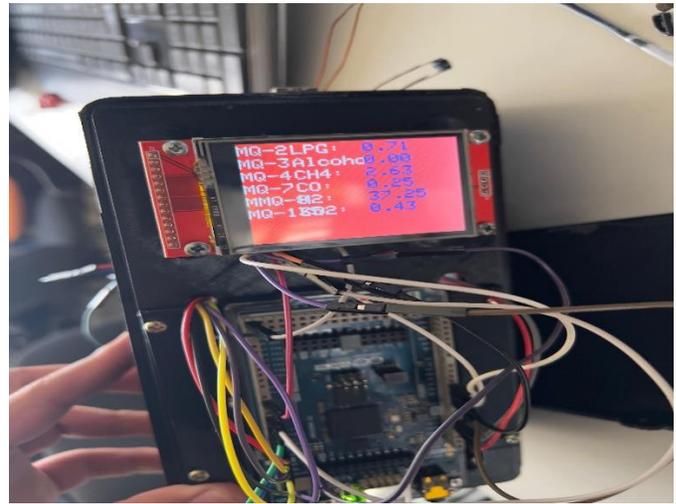


Figura 14. Cuarta y última versión del prototipo. Elaboración propia.

La última versión del prototipo está ensamblada dentro de la carcasa impresa, lo cual presentó un problema debido a la cantidad de cables jumper utilizados, los dos microcontroladores y las múltiples conexiones que requirieron resistencias, como en el caso de la pantalla LCD, donde sin estas no funcionaba correctamente. Esto generó dificultades durante el ensamblaje debido al espacio limitado para añadir una miniproto, pero lograron integrar todos los componentes y obtener un prototipo fácil de transportar y usar. Esta facilidad de uso y portabilidad es fundamental para el proyecto. En la misma imagen (Figura 14), se puede observar cómo está en funcionamiento la pantalla LCD y cómo a través de una interfaz se muestran todos los diferentes datos proporcionados por los sensores de gas MQ, mostrando cómo estos varían según las diferentes muestras.

## 6. Resultados

Los resultados obtenidos del estudio sobre la implementación de una nariz electrónica para la detección de diferentes gases mediante el uso de sensores MQ. Los datos recolectados proporcionan información detallada sobre la respuesta de cada sensor frente a diversos compuestos químicos, lo que permite evaluar su eficacia y precisión en la identificación de gases específicos.

En general al momento de elaborar este proyecto nos ayudo para poder darnos una idea mas clara y precisa sobre el desarrollo de un prototipo de nariz electrónica y de acuerdo a los diferentes sensores de gas a utilizar, el campo donde se desempeñará esta nariz electrónica puede cambiar y por eso es necesario el tener una investigación previa al momento de querer elaborar prototipos parecidos a estos.

Al contar con una gran variedad de sensores de gas, los cuales cuentan con su propio margen de químicos a detectar y al contar con una variedad de estos podemos abarcar una gran cantidad de sustancias químicas capaces de analizar. Esta nariz al poder analizar una gran variedad de gases no ayuda a poder estar centrada en una gran variedad de áreas de trabajo, tanto desde el área agrícola, como la alimenticia, la química, etc.

## 7. Discusión

Como se describe en el presente artículo, representa un avance significativo en la detección y análisis de sustancias a través de sus compuestos volátiles. La implementación de seis sensores de gas (MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-8 y MQ-135) permitió obtener una variedad de datos precisos sobre diferentes sustancias, demostrando la capacidad de este sistema para distinguir entre diversos compuestos químicos.

La elección de sensores MQ específicos fue crucial para el éxito del proyecto. Cada sensor tiene una sensibilidad única a ciertos gases, lo que permite una detección más robusta y precisa. Por ejemplo, el MQ-2 es eficaz para detectar metano y humo, mientras que el MQ-3 es sensible al alcohol y etanol. Esta diversidad en la sensibilidad de los sensores facilitó una cobertura amplia de detección, mejorando la funcionalidad del prototipo.

La investigación previa a la implementación destacó la necesidad de múltiples sensores para obtener datos más precisos. Este enfoque multifacético es consistente con la literatura existente, donde se ha demostrado que la combinación de varios tipos de sensores puede mejorar significativamente la exactitud y fiabilidad de las lecturas olfativas. La nariz electrónica desarrollada no solo proporciona una alternativa económica y eficiente a los métodos tradicionales de análisis de gases, sino que también ofrece una solución más rápida y menos subjetiva.

Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones de la tecnología actual. Aunque la nariz electrónica puede clasificar y comparar aromas de manera efectiva, todavía enfrenta desafíos en la determinación precisa de la composición química de los olores. Además, la tecnología de sensores de gas puede ser influenciada por factores ambientales como la temperatura y la humedad, lo que puede afectar la consistencia de las lecturas.

Futuras investigaciones podrían enfocarse en mejorar la selectividad y sensibilidad de los sensores, así como en desarrollar algoritmos más sofisticados para el procesamiento de datos. La integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático podría potencialmente mejorar la capacidad de la nariz electrónica para identificar y cuantificar compuestos específicos de manera más precisa y eficiente.

## 8. Conclusión

La investigación presentada en este artículo aborda el desarrollo de una nariz electrónica equipada con sensores de gas MQ para la detección de diversas sustancias a través de los gases que emiten. Este dispositivo tiene el potencial de revolucionar múltiples campos, desde la seguridad industrial hasta el control de calidad en la industria alimentaria.

El estudio detalló la selección de seis tipos de sensores MQ (MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-8 y MQ-135), cada uno especializado en la detección de diferentes gases como metano, etanol, monóxido de carbono, hidrógeno y otros compuestos volátiles. La elección de estos sensores fue basada en una investigación previa que resaltó la necesidad de utilizar una variedad de sensores para obtener datos precisos de diferentes muestras.

La nariz electrónica se destaca por su capacidad de procesamiento rápido y su potencial para ser integrada con sistemas de inteligencia artificial (IA) para la automatización del análisis de datos. Este enfoque no solo mejora la precisión y eficiencia en la detección de sustancias, sino que también reduce la dependencia de análisis sensoriales subjetivos realizados por humanos.

La creación de este prototipo de nariz electrónica representa un avance significativo hacia la implementación de sistemas de detección más fiables y accesibles económicamente. La investigación sugiere que futuras mejoras, incluyendo la integración completa con IA, podrían permitir la automatización del proceso de análisis, ampliando aún más las aplicaciones potenciales de este dispositivo en diversos sectores industriales y científicos.

Para concluir, la nariz electrónica desarrollada en este estudio ofrece una solución innovadora y eficiente para la detección de sustancias mediante gases. Con mejoras continuas y una mayor integración tecnológica, este dispositivo tiene el potencial de convertirse en una herramienta estándar en numerosas aplicaciones prácticas, mejorando la seguridad, calidad y eficiencia en múltiples industrias.

## 9. Agradecimientos

Un cordial agradecimiento al centro de cooperación academia-industria, por su apoyo y el todo el equipo brindado para poder llevar a cabo este proyecto, además de agradecer a todos los coordinadores de proyectos que se encuentran en esta área, ya que gracias a sus consejos y apoyo se puede sacar adelante los proyectos. Un agradecimiento especial al Dr. Francisco Jacob Ávila Camacho por todo su apoyo en la elaboración de este artículo, sus consejos en el área, su orientación como asesor y su asistencia en el proyecto.

## 10. Referencias

- [1] ACEnología. (n.d.). \*La ciencia del vino\*. Recuperado el 18 de mayo del 2024, de [https://www.acenologia.com/ciencia60\\_2/](https://www.acenologia.com/ciencia60_2/)
- [2] Agudelo Rivera, N. J., Rodríguez Ramírez, E., Gómez Olivares, L. C., & Sánchez Quintero, J. M. (2014). Implementación y evaluación de una nariz electrónica para la detección de alcoholes lineales. \*Ingeniería, Investigación y Desarrollo (I2+D)\*, 14(2), 21-32. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309048472002>
- [3] Arduino. (n.d.). \*Arduino GIGA R1 WiFi\*. Recuperado de [https://content.arduino.cc/assets/Arduino\\_GIGA\\_R1\\_WiFi\\_schematics.pdf](https://content.arduino.cc/assets/Arduino_GIGA_R1_WiFi_schematics.pdf)
- [4] Arduino. (n.d.). \*Arduino Uno Rev3\*. Recuperado de [https://content.arduino.cc/assets/UNO-TH\\_Rev3e\\_sch.pdf](https://content.arduino.cc/assets/UNO-TH_Rev3e_sch.pdf)
- [5] Brown, R., & Miller, J. (2019). The evolution of electronic noses: From GC-MS to sensor arrays. \*Sensors Journal\*, 19(6), 1445-1456.
- [6] Chen, Z., & Lu, C. J. (2015). Humidity sensors: A review of materials and mechanisms. \*Sensors and Actuators B: Chemical\*, 206, 555-572.
- [7] Farsani, H. R., & Ahmadi, H. (2019). A Review on Gas Sensors Based on Conducting Polymers. *Journal of Sensors*, 2019, 1-17.
- [8] Farsani, H. R., & Ahmadi, H. (2019). A review on gas sensors based on conducting polymers. \*Journal of Sensors\*, 2019, 1-17.
- [8] Gardner, J. W., & Barlett, P. N. (1999). \*Electronic noses: Principles and applications\*. Oxford University Press.
- [9] Henan Hanwei Electronics Co., Ltd. (s.f.). \*MQ-2 Gas Sensor\*. Recuperado el 18 de mayo de 2024, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-2.pdf>

- [10] Henan Hanwei Electronics Co., Ltd. (s.f.). \*MQ-3 Gas Sensor\*. Recuperado el 18 de mayo de 2024, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/MQ-3.pdf>
- [11] Henan Hanwei Electronics Co., Ltd. (s.f.). \*MQ-4 Gas Sensor\*. Recuperado el 18 de mayo de 2024, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>
- [12] Henan Hanwei Electronics Co., Ltd. (s.f.). \*MQ-7 Gas Sensor\*. Recuperado el 18 de mayo de 2024, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- [13] Henan Hanwei Electronics Co., Ltd. (s.f.). \*MQ-8 Gas Sensor\*. Recuperado el 18 de mayo de 2024, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-8.pdf>
- [14] Henan Hanwei Electronics Co., Ltd. (s.f.). \*MQ-135 Gas Sensor\*. Recuperado el 18 de mayo de 2024, de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-135.pdf>
- [15] Moreno, H. P., & Gómez, L. P. (2016). Implementación de una nariz electrónica para la detección de contaminantes en el aire. \*Revista Ingeniería Ambiental\*, 26(2), 115-123. Recuperado de [https://www.academia.edu/23456789/Implementación\\_de\\_una\\_Nariz\\_Electrónica\\_para\\_la\\_Detección\\_de\\_Contaminantes\\_en\\_el\\_Aire](https://www.academia.edu/23456789/Implementación_de_una_Nariz_Electrónica_para_la_Detección_de_Contaminantes_en_el_Aire)
- [16] Moreno, I., Caballero, R., Galán, R., Matía, F., & Jiménez, A. (2009). La nariz electrónica: Estado del arte. \*Revista RIAI\*
- [17] Parra Zuluaga, C. A., & Aristizábal Maya, J. D. (2020). La nariz electrónica: Una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria. \*Revista de Tecnología Agroindustrial\*, 12(3), 56-67. Recuperado de [https://www.academia.edu/43170287/La\\_Nariz\\_Electrónica\\_Una\\_Novedosa\\_Herramienta\\_Para\\_El\\_Control\\_De\\_Procesos\\_y\\_Calidad\\_en\\_La\\_Industria\\_Agroalimentaria](https://www.academia.edu/43170287/La_Nariz_Electrónica_Una_Novedosa_Herramienta_Para_El_Control_De_Procesos_y_Calidad_en_La_Industria_Agroalimentaria)
- [18] Patil, S. B., & Kumbar, S. G. (2018). Gas detection using semiconductor sensor: A review. \*Materials Today: Proceedings\*, 5(1), 11098-11102.
- [19] Persaud, K., & Dodd, G. (1982). Analysis of patterns of response of a gas sensor array to volatile organic compounds. \*Nature\*
- [20] Pinheiro, C., et al. (2002). Figura 1. La nariz electrónica y el sistema del olfato humano. \*ResearchGate\*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-La-nariz-electronica-y-el-sistema-del-olfato-humano-Pinheiro-et-al-2002\\_fig1\\_228937186](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-La-nariz-electronica-y-el-sistema-del-olfato-humano-Pinheiro-et-al-2002_fig1_228937186)
- [21] Rodríguez, J. A., & Rodríguez, M. J. (2011). Implementación de una nariz electrónica para detectar compuestos orgánicos volátiles en el aliento humano. \*Revista Colombiana de Física\*, 43(1), 45-54. Recuperado de <https://www.scielo.org.co/pdf/rcf/v43n1/v43n1a06.pdf>
- [22] Tiemann, M. (2019). Porous Metal Oxides as Gas Sensors. *Chemistry: A European Journal*, 15(22), 11692-11700.
- [23] RUVI. (n.d.). \*Nariz electrónica para el diagnóstico rápido de enfermedades respiratorias\*. Recuperado el 18 de mayo del 2024, de <https://ruvid.org/nariz-electronica-para-el-diagnostico-rapido-de-enfermedades-respiratorias/>
- [24] Sharma, D., & Anil, K. (2017). Performance analysis of MQ sensors for gases/liquids. \*International Journal of Scientific & Engineering Research\*, 8(6), 92-98.
- [25] Smith, A., & Norman, P. (2020). Advances in gas chromatography and mass spectrometry for odor analysis. \*Journal of Analytical Chemistry\*, 92(5), 2553-2563.
- [26] Tiemann, M. (2019). Porous metal oxides as gas sensors. \*Chemistry: A European Journal\*, 15(22), 11692-11700.