

DISPOSITIVO DINÁMICO DE DETECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO CON ALARMA VISUAL SONORA EN TIEMPO REAL

VILLANUEVA, A. ¹

GANIELE, M. J. ²

MONTENEGRO, S. ³

NICOLETTI, P. ⁴

QUINTEROS, L. ⁵

MELO, M. ⁶

PONZONI, L. ⁷

Villanueva, A., Ganiele, M. J., Montenegro, S., Nicoletti, P., Quinteros, L., Melo, M., Ponzoni, L. (2025). Dispositivo dinámico de detección de dióxido de carbono con alarma visual sonora en tiempo real. *Revista INNOVA, Revista argentina de Ciencia y Tecnología*, 16.

¹ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Laboratorio Perfil Alar, Gerencia Materiales, GAEN, Centro Atómico Constituyentes, Argentina

² Universidad Nacional de Tres de Febrero, Laboratorio Perfil Alar, Gerencia Materiales, GAEN, Centro Atómico Constituyentes, Argentina / ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2702-3013>

³ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Laboratorio Perfil Alar, Gerencia Materiales, GAEN, Centro Atómico Constituyentes.

⁴ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Laboratorio Perfil Alar, Gerencia Materiales, GAEN, Centro Atómico Constituyentes.

⁵ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Laboratorio Perfil Alar, Gerencia Materiales, GAEN, Centro Atómico Constituyentes.

⁶ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Laboratorio Perfil Alar, Gerencia Materiales, GAEN, Centro Atómico Constituyentes.

⁷ Universidad Nacional de Tres de Febrero, Laboratorio Perfil Alar, Gerencia Materiales, GAEN, Centro Atómico Constituyentes, Argentina / investigacionaeromat@gmail.com / lponzoni@untref.edu.ar

/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0414-1535>

RESUMEN

En los comienzos de la pandemia por el virus COVID-19 se creía que la principal vía de contagio era solo a través de superficies contaminadas y de las gotitas expulsadas al toser o estornudar, lo que condujo a pensar que la manera de evitar contagios era mantener la distancia entre pares. Estudios recientes demuestran que esto es falso e indican que la principal vía de contagio del virus COVID-19 se produce al respirar el aire exhalado por una persona contagiada, en consecuencia este riesgo se incrementa en espacios cerrados o poco ventilados. Frente a esta situación es que se ha desarrollado un sistema de medición de calidad de aire con una alarma visual sonora que permite indicar la calidad del aire en tiempo real. Este sistema, permite conocer la calidad del aire circundante y determinar la necesidad de tomar medidas para prevenir el riesgo de contagio, siendo la manera más efectiva la ventilación de ambientes.

PALABRAS CLAVE

COVID-19, salud, ventilación, calidad de aire, dióxido de carbono

ABSTRACT

At the beginning of the COVID-19 virus pandemic, it was believed that the main route of infection was only through contaminated surfaces and droplets expelled by coughing or sneezing, this led to the belief that the way to avoid contagion was to maintain the distance between pairs. Recent studies show that this is false and indicate that the main route of contagion of the COVID-19 virus occurs when breathing the air exhaled by an infected person, consequently this risk increases in closed or poorly ventilated spaces. Faced with this situation, an air quality measurement system has been developed with an audible visual alarm that allows the quality of the air to be indicated in real time. This will allow knowing the quality of the surrounding air and the need to take measures to prevent the risk of contagion, the most effective way being the ventilation of rooms.

KEY WORDS

COVID-19, health, ventilation, air quality, carbon dioxide

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), la propagación del COVID-19 ocurre con mayor frecuencia cuando una persona infectada está en contacto estrecho o directo con otra persona. El riesgo de propagación del virus es más elevado en espacios cerrados, de mucha concurrencia de personas y con una ventilación deficiente, donde las personas pasan largos periodos muy cerca unas de otras. Mejorar la ventilación de este tipo de espacios puede reducir el riesgo de propagación del virus en los mismos, esto implica introducir aire limpio en un espacio al tiempo que se elimina el aire viciado, a fin de mantener o mejorar la calidad del aire.

Teniendo esto en cuenta nos preguntamos qué nivel de calidad de aire se debe procurar mantener en estas situaciones, como lo es un aula de una universidad, para que el riesgo de contagio sea menor. La OMS recomienda que los niveles de concentración de CO₂ en interiores no excedan las 1,000 ppm (partes por millón). Por otra parte, un estudio realizado en la Universidad de Taipei (Chun-Ru Du, 2019), sobre la incidencia de contagios de tuberculosis en universidades, descubrió que al aumentar la ventilación de los ambientes, disminuía la concentración de dióxido de carbono a niveles entre 600-1000 ppm y en consecuencia se reducía el riesgo de contagio en un 97%.

El fenómeno que explica esta relación es que el ser humano al exhalar emite concentraciones de dióxido de carbono que, si se encuentra en un lugar cerrado, se acumulan. Si en este espacio hay muchas personas el nivel de emisión se multiplica y por ende la concentración de dióxido de carbono aumenta. A medida que la concentración de este gas aumenta también lo hace el porcentaje de veces que este aire ya ha sido inhalado y expirado por otras personas-aire viciado-.

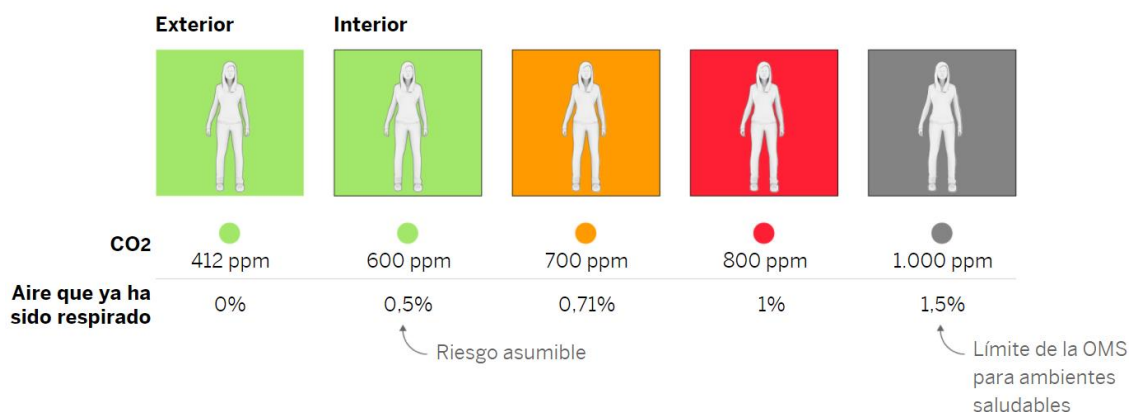


Figura 1: Relación entre la concentración de dióxido de carbono y porcentaje de aire ya respirado. Fuente: Harvard y guías de recomendaciones IDAEA-CSIC-LIFTEC.

En un contexto de pandemia donde esta enfermedad se transmite al respirar las partículas virales de una persona contagiada, es primordial garantizar una ventilación constante de los espacios cerrados con el fin de mantener bajo el riesgo de contagio y poder continuar con nuestras actividades normalmente.

OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es el desarrollo de un sensor de calidad de aire económico y accesible para todas las personas, específicamente para la detección de dióxido de carbono, a utilizar en espacios cerrados con el fin de disminuir el riesgo de contagio por COVID-19.

METODOLOGÍA

El sistema se encuentra provisto de un sensor de CO₂ que tiene adosado un procesador y un sistema de alarmas en función de la concentración de CO₂. En caso de medir concentraciones en el ambiente menores o iguales a 600ppm de CO₂, se prende una luz verde, en caso de medir más de 600 y hasta 800 ppm se prende una luz amarilla y más de 800 ppm una luz roja combinado con una alarma sonora. Este criterio se basa en las publicaciones del CSIC y el límite que determina la OMS para ambientes saludables, que garantiza una minimización de riesgo de contagio de personas ante el COVID en ambientes cerrados.

El dispositivo cuenta con un detector de CO₂ de alta sensibilidad acoplado a un sistema Venturi de geometría no simétrica y de flujo forzado. El flujo ingresa en forma forzada por la tobera de admisión (mayor diámetro) por medio de un filtro dispersor y egresa por una tobera divergente con filtro de egreso para generar una depresión en la contracción, donde se ubica el sensor de CO₂. En la contracción del Venturi, se dispone de dos ingresos radiales de flujo de baja velocidad, que permite incrementar la sensibilidad del sensor y reducir los tiempos de medición de CO₂ del ambiente.

Entre los componentes específicos de este dispositivo podemos nombrar el sensor de aire MQ135 y el sistema de sensor visual/sonora empleado.

Sensor MQ135

La serie de sensores de gas MQ utiliza un pequeño calentador en su interior con un sensor electroquímico. Son sensibles para una gama de gases y se utilizan en interiores a temperatura ambiente. La salida es una señal analógica y se puede leer con una entrada analógica del Arduino.

El sensor a utilizar en el presente trabajo es el MQ-135 (Figura 2). El mismo se utiliza para la medición de la calidad del aire y la detección de polución y gases nocivos en ambientes domésticos e industriales tales como Amoníaco (NH_3), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Alcohol, Sulfuros, Benceno (C_6H_6), Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de carbono (CO), humo y otros gases nocivos.



Figura 2: Sensor de calidad de aire MQ-135. Fuente: Ficha técnica.

Conexiones

El primer paso es la conexión del sensor. El mismo dispone de cuatro pines de conexión:

- VCC: Alimentación de 5 Voltios.
- GND: Tierra.
- AO: Salida analógica.
- DO: Salida digital.

Podríamos utilizar la salida digital para fijar un valor determinado y programar un circuito que nos indique si se supera o no este valor pero como requerimos un valor

más exacto de concentración de dióxido de carbono utilizaremos la salida digital y realizaremos la conexión de sensor como se ve en la siguiente Figura.

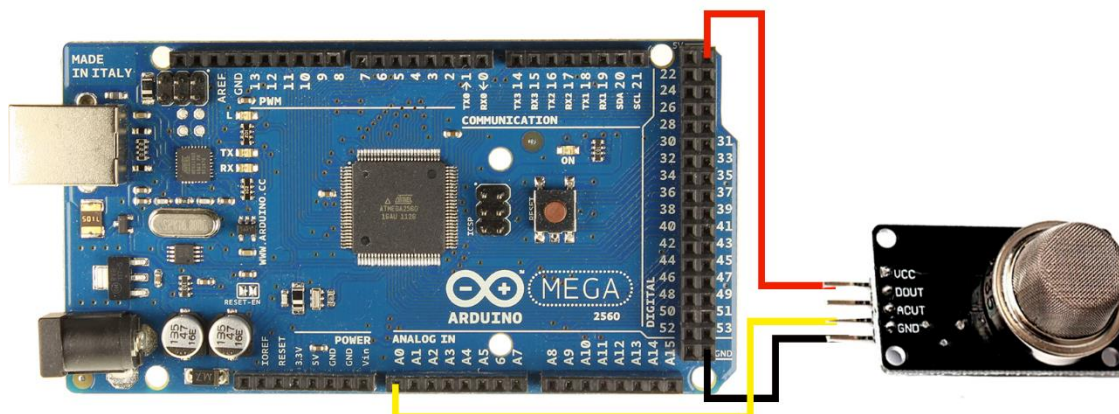


Figura 3: Conexión del sensor MQ-135 al Arduino. Fuente: Elaboración Propia.

Calibración

El sensor requiere de una calibración previa para garantizar que la medición obtenida se corresponda con la concentración real en la habitación.

Utilizaremos la hoja de datos del sensor para obtener la curva de sensibilidad característica del mismo mediante la cual podemos convertir la salida analógica del sensor a la concentración en ppm del gas bajo estudio. En la Figura 4 se observan las distintas líneas, de escala logarítmica, para cada gas que puede detectar el sensor.

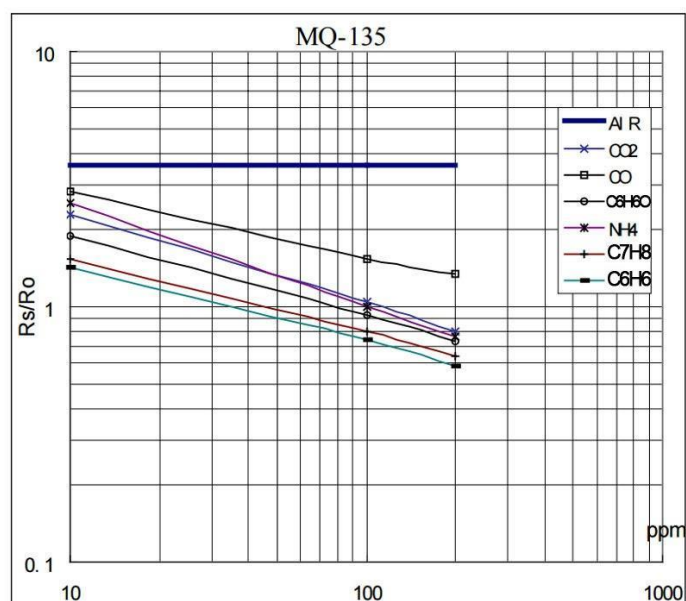


Figura 4: Curva de sensibilidad característica. Fuente: Ficha técnica del sensor proveída por el fabricante.

Donde:

Ro: Resistencia del sensor en aire limpio.

Rs: Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases.

Calcular el valor en ppm del gas medido

Para obtener la concentración del gas de interés, en este caso el dióxido de carbono, debemos recurrir a la curva característica del sensor y obtener la ecuación de la curva.

Al observar la Figura 4 podemos ver que la ecuación seguirá una forma logarítmica.

$$y = a \cdot x^b$$

$$\frac{y}{a} = x^b \quad (1)$$

Para obtener la ecuación en función de la concentración del gas y encontrar la forma de la ecuación (1), invertimos los ejes del gráfico y obtenemos:

$$x = a \cdot \left(\frac{y}{a}\right)^{\frac{1}{b}} \quad (2)$$

Luego, con el fin de determinar la ecuación de la curva característica utilizamos el programa GetData graph digitizer, mediante el cual graficamos la curva deseada y obtenemos una serie de puntos exactos que nos permitirán obtener la línea de tendencia en un programa de parametrización, obteniendo finalmente la ecuación de la curva (3) de la Figura 5. Cabe mencionar que, si bien en la hoja de datos la curva característica alcanza un máximo de 200 ppm, se extendió este rango hasta los 1000 ppm por lo que la curva obtenida no es exactamente la de la ficha técnica sino una que abarca un rango de valores mayores a fin de adaptarla a nuestro dispositivo de medición.

$$R_s = 109,17 \left(\frac{R_o}{R_s} \right)^{-2,842} \quad (3)$$

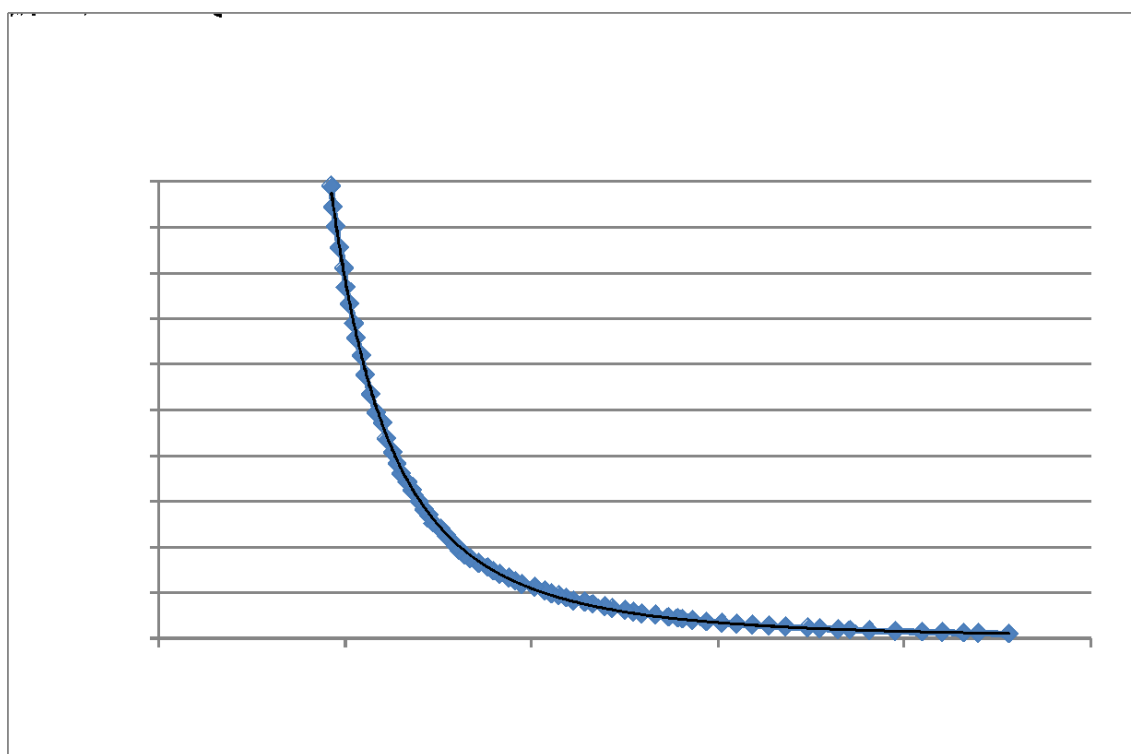


Figura 5: Curva de sensibilidad característica y línea de tendencia. Fuente: Elaboración propia mediante el Software Excel.

Cálculo del valor de R_o en aire limpio

Como se observa en la Figura 4, la relación entre la resistencia del sensor en aire limpio (R_o) y la resistencia del sensor según la concentración del gas presente (R_s) da como resultado un valor en el eje de las abscisas de la curva mediante el cual

podemos obtener el valor de concentración en ppm presente en el ambiente. Partiendo de esta base es posible calcular el valor de R_o , si obtenemos valores de R_s y ppm que podemos relacionar.

$$\frac{R_o}{R_s} = \frac{V_{LRL}}{V_{LRL} - V_{LRL}} \quad (4)$$

A su vez,

$$R_s = \left(\frac{V_{LRL}}{V_{LRL} - V_{LRL}} - 1 \right) R_o \quad (5)$$

Donde:

V_c = Voltaje de entrada = 5.0 V

V_{LRL} = Voltaje analógico de salida.

R_L = Resistencia interna de sensor = 1 k Ω

Utilizando la ecuación (5) en el programa de Arduino podemos calcular los distintos valores de R_s según la concentración del gas presente en el ambiente, la cual será medida con un equipo de detección de dióxido de carbono otorgado por la universidad de muy alta precisión y cuya calibración se encuentra vigente. Este equipo es de la marca SIEFA modelo SKY2000 y mide un máximo de 50000 ppm.



Figura 6: Equipo SIEFA SKY 2000. Fuente: Elaboración propia.

Como se detalló anteriormente, escribimos el código en el entorno de desarrollo de Arduino mediante el cual obtendremos los valores de voltaje y resistencia detectados.

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
}  
  
void loop() {  
  
  int adc_MQ = analogRead(A0);  
  float voltaje = adc_MQ * (5.0 / 1023.0);  
  float Rs=1000*((5-voltaje)/voltaje);  
  
  //  
  Serial.print("adc:");  
  Serial.print(adc_MQ);  
  Serial.print("    voltaje:");  
  Serial.print(voltaje);  
  Serial.print("    Rs:");  
  Serial.print(Rs);  
  delay(100);  
}
```

Figura 7: Código para la obtención de Rs. Fuente: Elaboración propia mediante el Software Arduino.

Para obtener los parámetros de calibración en aire limpio se debe colocar el sensor de dióxido de carbono y el equipo SIEFA detector de gases en un sitio al aire libre, de esta manera aseguramos que la calidad del aire no se encuentre perturbada.

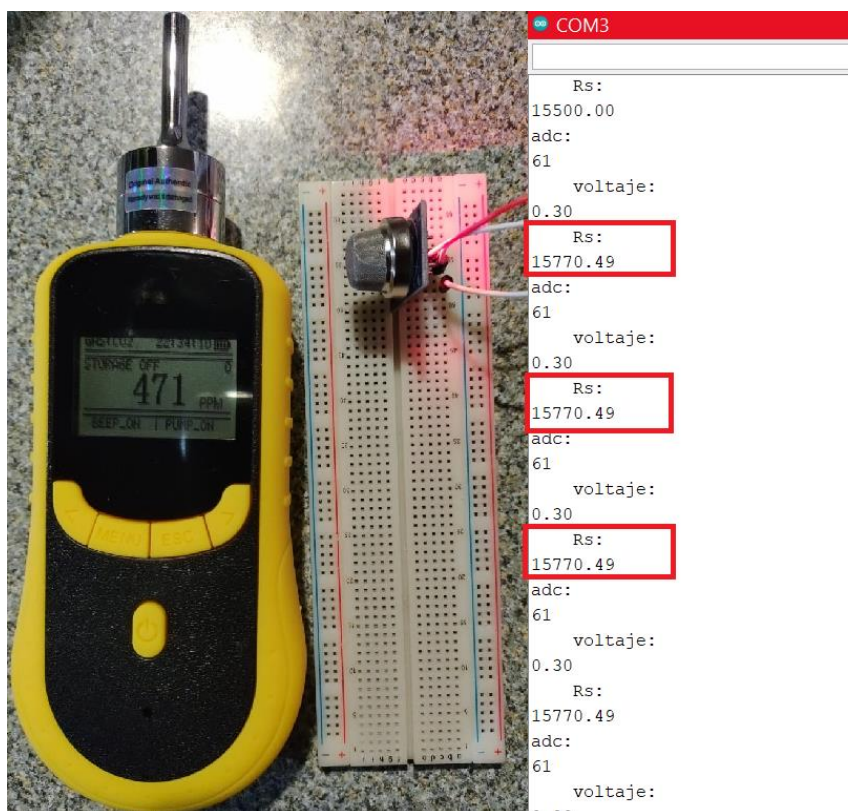


Figura 8: Valores obtenidos del equipo SKY2000 (Izquierda) y valores obtenidos de Rs del sensor (Derecha). Fuente: Elaboración propia

Despejamos el valor de R_o de la ecuación 4 y reemplazamos con los valores obtenidos del código (15770). En cuanto al valor de x , utilizamos la concentración de dióxido de carbono detectada por el equipo (471 ppm) y obtenemos el valor de x mediante la ecuación de la curva característica obtenida anteriormente. De esta manera obtenemos que el valor de x correspondiente a 471 ppm es de 0,6.

$$x = \frac{R_s}{R_o + R_s}$$

$$x = \frac{15770}{0,6} = 26283,33$$

Obtenido el valor de R_o en aire limpio, lo reemplazamos en la ecuación 3 y finalmente obtenemos la ecuación de la curva característica calibrada.

$$R_s = 109,17 \left(\frac{x}{26283,33} \right)^{-2,842} \quad (6)$$

De esta manera, al utilizar el sensor podemos obtener el valor de concentración de dióxido de carbono en ppm ya que R_o es una constante y R_s es el parámetro que varía en función de la lectura.

Programación para la obtención de los valores de CO2

Una vez calibrado el sensor debemos escribir el código que nos permita relacionar las mediciones del mismo con la concentración de dióxido de carbono presente en el ambiente de estudio. Para ello, escribimos un nuevo código en el entorno de desarrollo, empleando en el mismo la ecuación 6 obtenida.

```
#define MQ_sensor A0
float Ro = 26283; // Valor de Ro en aire limpio en kohm
float V= 5.0;
float VRL, Rs, Ratio, radioexp;

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

void loop() {

  //Calculo Rs
  VRL = analogRead(MQ_sensor)*(V/1023.0); // convierte raw a voltaje
  Rs = 1000*((V-VRL)/VRL); //obtengo Rs
  Ratio=Rs/Ro;

  //Curva de sensibilidad del sensor obtenida previamente
  float ratioexp = pow(Ratio, -2.842);
  float ppm= 400 +(109.17 * ratioexp) ;

  Serial.println("CO2 (ppm) = ");
  Serial.println(ppm);
  Serial.println(" ");

  delay(1000);
}
```

Figura 9: Código empleado para la detección de dióxido de carbono en el ambiente. Fuente: Elaboración propia mediante el Software Arduino.

Sensor Sonoro/Visual

La alarma visual sonora de permite manifestar el nivel de calidad de aire presente en el ambiente y la necesidad de ventilar el mismo. Para ello se utilizaron dos dispositivos:

- **Módulo semáforo:** Este módulo se compone de una serie de diodos emisores de luz led (rojo, amarillo y verde). El mismo presenta tres pines de salida (Green, Yellow y Red) y un pin GND (Tierra).

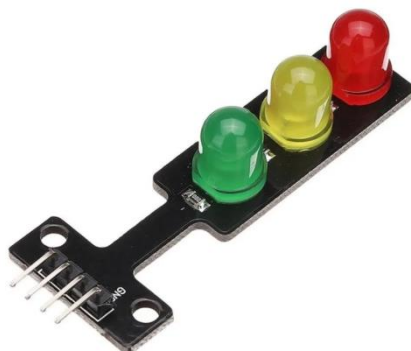


Figura 10: Módulo semáforo. Fuente: Ficha técnica del módulo proveída por el fabricante.

- **Módulo buzzer activo:** Estos dispositivos generan un sonido a una frecuencia determinada y fija cuando son conectados a tensión. El mismo presenta tres pines: VCC (Alimentación de 5 Voltios); I/O (Salida digital) y GND (Tierra).



Figura 11: Módulo buzzer activo. Fuente: Ficha técnica del módulo proveída por el fabricante.

Teniendo en cuenta las recomendaciones del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Organización Mundial de la Salud, se definieron tres escenarios posibles a partir de los rangos de valores de concentración de dióxido de carbono y su influencia en el riesgo de contagio. De esta manera se le asignó una luz led de un color identificador para cada caso y el sonido del buzzer en caso que corresponda:

Escenario A: Concentración de 400 a 600 ppm. Representa una calidad de aire aceptable. Se enciende la luz verde.

Escenario B: Concentración de 600 a 1000 ppm. El riesgo de contagio aumenta por lo cual se recomienda ventilar el ambiente. Se enciende la luz amarilla.

Escenario C: Concentración mayor a 1000 ppm. Riesgo de contagio muy alto, se recomienda evacuar el ambiente y ventilarlo para disminuir los valores de CO₂. Se enciende la luz roja y se emite un pitido mediante el módulo buzzer.

Definidos los escenarios se procede a realizar la conexión de los módulos descriptos y el sensor de calidad de aire en conjunto como se indica en la Figura 12.

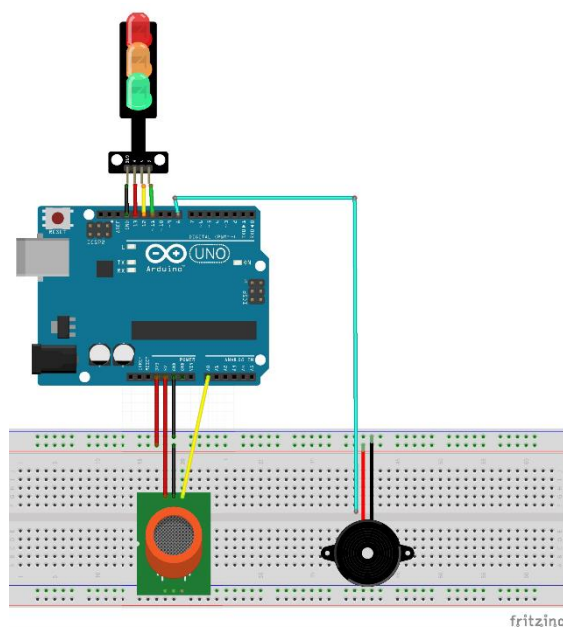


Figura 12: Conexión de los módulos buzzer, semáforo y sensor de calidad de aire MQ-135. Fuente: Elaboración propia mediante el Software Fritzing.

Escribimos el código en el entorno de desarrollo de Arduino mediante el cual le indicaremos al microprocesador que calcule los valores de dióxido de carbono presentes en el ambiente y que encienda las alarmas pertinentes en función de las concentraciones detectadas.

```

1) #define MQ_sensor A0
float Ro = 26283;
float V= 5.0;
float VRL, Rs, Ratio, radioexp;

int luzroja = 13;
int luzamarilla = 12;
int luzverde = 11;
const int buzzer=8;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(luzroja, OUTPUT);
  pinMode(luzamarilla, OUTPUT);
  pinMode(luzverde, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
}

void loop() {

  //Calculo Rs
  VRL = analogRead(MQ_sensor)*(V/1023.0);
  Rs = 1000*((V-VRL)/VRL); //obtengo Rs
  Ratio=Rs/Ro;

  //Curva de sensibilidad del sensor
  float ratioexp = pow(Ratio, -2.842);
  float ppm= 400 +(109.17 * ratioexp) ;

2) //Semaforo y buzzer
if (ppm>400 && ppm<600) {
  // Verde
  digitalWrite(luzverde, HIGH);
  digitalWrite(luzamarilla, LOW);
  digitalWrite(luzroja, LOW);
  Serial.println("Calidad de aire aceptable");

} else if (ppm > 600 && ppm <1000){
  // Amarillo
  digitalWrite(luzamarilla, HIGH);
  digitalWrite(luzverde, LOW);
  digitalWrite(luzroja, LOW);
  Serial.println("Ventilar Ambiente");

}else{
  // Rojo y buzzer
  digitalWrite(luzverde, LOW);
  digitalWrite(luzamarilla, LOW);
  digitalWrite(luzroja, HIGH);
  tone(buzzer,660,250);
  Serial.println("Evacuar y ventilar Ambiente");
}

Serial.println("CO2 (ppm) = ");
Serial.println(ppm);

  delay(1000);
}

```

Figura 13: Código “Detector de dióxido de carbono con alarma visual sonora”.

Fuente: Elaboración propia mediante el Software Arduino.

Utilizando los módulos y el código desarrollado se podrán obtener las concentraciones de calidad de aire presentes en el ambiente y una alarma que indique la urgencia de ventilar los ambientes o evacuarlos en caso de ser necesario.

Cámara de detección (sistema Venturi)

Debido a que el dióxido de carbono es más denso que el aire (42gr/mol respecto del 29 gr/mol), tiende a depositarse en las cercanías del suelo por lo cual los sensores que son instalados en zonas alejadas al mismo no tienen el mismo alcance y, en caso de instalarlos en zonas elevadas, se corre el riesgo de que medición no sea representativa del ambiente. La cámara de detección desarrollada, permite tener una medición más precisa del CO₂ del ambiente independiente de la ubicación del sensor, además de incrementar la velocidad de muestreo a partir de un flujo forzado combinado con efecto Venturi.

Para diseñar la cámara de detección se recurrió al fenómeno del efecto Venturi, el cual emplea un conducto cerrado con una geometría específica donde el área interna del dispositivo varía, generando un área transversal pequeña (vena contracta) donde se ubica el sensor y el cual produce una disminución en la presión del fluido y un aumento de la velocidad del mismo. En forma adicional, la cámara dispone de orificios radiales en la vena contracta, que permite ingresar el aire del ambiente en la zona de medición del sensor, reduciendo los tiempos de detección e incrementando la precisión.

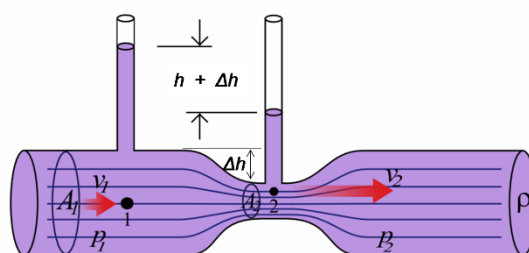


Figura 14: Efecto Venturi. Fuente: (Y.A. Cengel, 2006)

Definida la geometría, parecido a una copa de vidrio, se realizó el diseño y modelado por computadora a fin de optimizar la mezcla de gases, y se imprimió el dispositivo con tecnología de impresión 3D, instalada en el Laboratorio Perfil Alar, CNEA y la UNTREF.

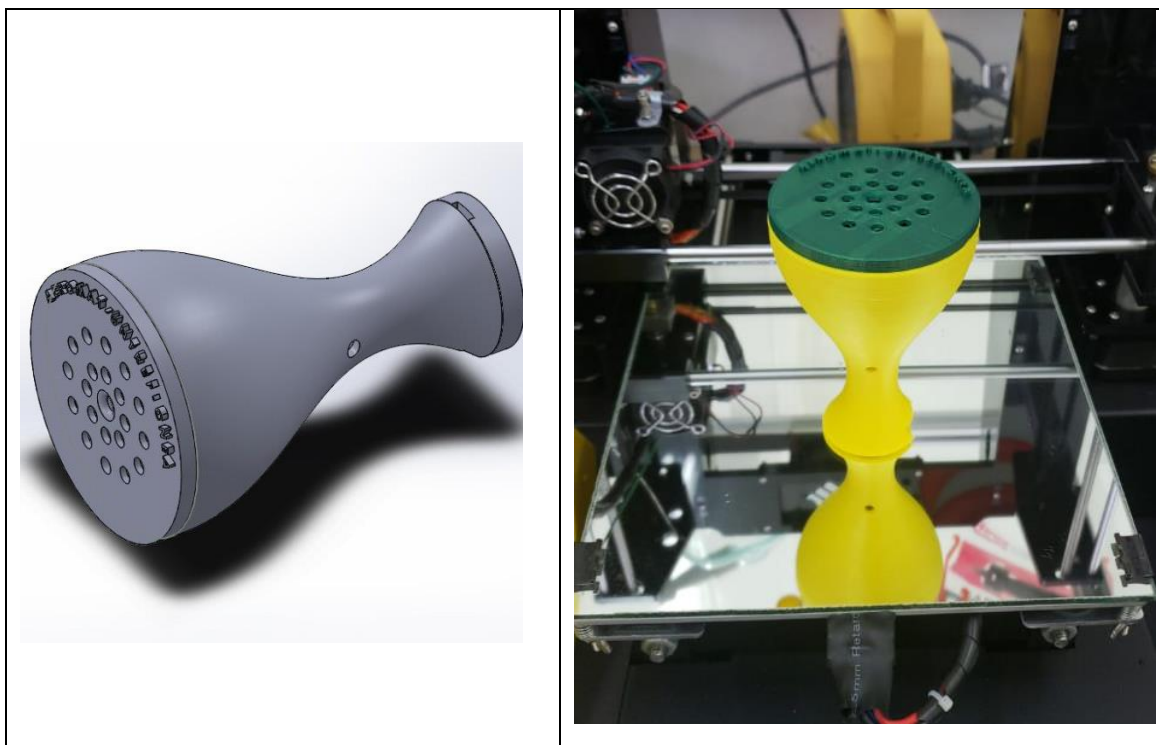


Figura 15: Proceso de impresión del dispositivo diseñado mediante impresora 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

A fin de mejorar el efecto Venturi, se le acopló un forzador de aire axial, de manera de generar el efecto mencionado y provocar que una mayor cantidad de flujo de aire atravesase el sensor. Esto sumado a la nueva curva de sensor MQ135 programada, permitió reducir los tiempos de medición como la precisión del sensor.

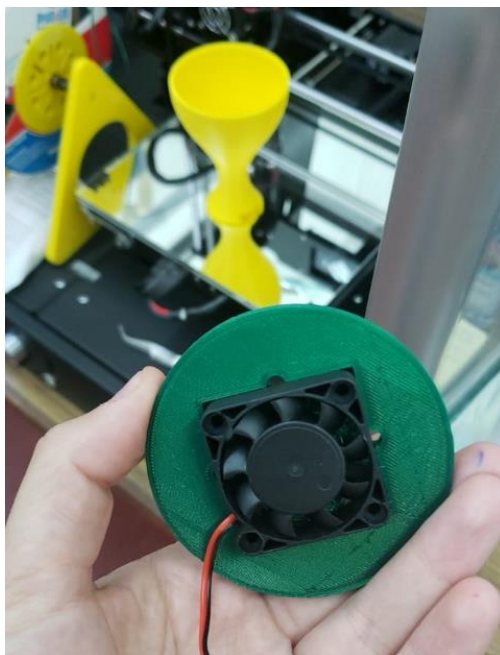


Figura 16: Proceso de impresión del dispositivo y acople del ventilador utilizado.
Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se diseñó un armazón para colocar dentro del mismo, el microprocesador Arduino y los sensores de alarma de manera tal que el buzzer y las luces sean visibles.



Figura 17: Armazón y soporte para redirigir el flujo de viento hacia el sensor.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron pruebas para determinar la confiabilidad en las mediciones del dispositivo ya que si bien el mismo surge como una gran oportunidad para obtener datos aproximados de calidad de aire, el mismo se encuentra diseñado para medir una serie de gases y no distingue cuál se encuentra en el ambiente, simplemente mide la concentración de gases presentes. Además, como se indica en la curva característica presente en la ficha del fabricante, el sensor mide en un rango de valores de 0 a 200 ppm, rango que se ha redefinido en el presente trabajo a 1000 ppm a partir de una nueva calibración obtenida con una curva logarítmica ad hoc.

Se realizaron tres pruebas con distintas concentraciones de dióxido de carbono. Para cada caso se realizaron mediciones tanto con el sensor MQ-135 desarrollado como con el equipo SIEFA de manera tal de relacionar los valores reales con los medidos. En función de poder comparar las mediciones de ambos y, teniendo en cuenta que los valores de dióxido de carbono cambian a cada momento, se realizaron mediciones en un tiempo definido de 1 minuto y, para analizar los resultados, se tomaron en consideración los promedios de las concentraciones medidas y el desvío estándar.

Parámetro	CASO 1	CASO 2	CASO 3
MQ-135			
Promedio [ppm]	609	614	738
Desvío Estándar [ppm]	6	3	13
SIEFA SKY 2000			
Promedio [ppm]	631	654	735
Desvío Estándar [ppm]	36	18	44

Tabla 1: Promedio y desvío estándar de las mediciones realizadas para los tres casos analizados. Fuente: Elaboración Propia.

Si analizamos los valores de desvío estándar podemos observar que, en el caso del MQ, los valores son pequeños y en el caso del equipo SIEFA se obtuvieron valores

mayores. Esto nos indica que la concentración de dióxido de carbono presente en el ambiente presenta una gran variabilidad segundo a segundo, variación que es detectada por el equipo SIEFA mas no por el MQ-135. Esto nos indica una deficiencia en la capacidad de respuesta del sensor desarrollado.

Por otra parte podemos observar que, si bien los valores promedio del sensor MQ-135 no coinciden con los valores detectados por el equipo SIEFA, el rango de valores si lo hace

Parámetro	CASO 1	CASO 2	CASO 3
MQ-135			
Rango de valores [ppm]	603 – 615	611-617	725-751
SIEFA SKY 2000			
Rango de valores [ppm]	595-667	636-672	691-779

Tabla 2: Rango de valores detectados por sensor MQ-135 y equipo SIEFA. Fuente: Elaboración propia.

Se debe mencionar que, si bien los rangos coinciden, en los casos 1 y 2 los valores máximos detectados por el sensor son menores que los valores pico del equipo SIEFA. Por otra parte y contrario a la hipótesis desarrollada, en el caso 3 los rangos de valores son bastante similares, teniendo un desvío estándar acorde el observado en la Tabla 1.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un dispositivo sensor de CO₂ autónomo para analizar la calidad de aire en ambientes cerrados. Este cuenta con un sistema muestreo conformado por una cámara de detección de geometría no simétrica y de flujo forzado del tipo tobera convergente/divergente, que permite obtener una medición más precisa y rápida de la calidad del aire de un ambiente cerrado, y en función de ello indicar la calidad del aire por medio de un sistemas de iluminación y una alarma sonora cuando se alcanza el nivel crítico. En forma complementaria, el sistema permite obtener un registro de las mediciones y almacenarlo en el tiempo para evaluar las condiciones en que se encontraba la calidad del aire. Este modelo, parecido a una copa de vidrio, fue diseñado empleando modelos computacionales de simulación

de fluidos. El mismo se encuentra construido con impresión 3D usando un material biodegradable, que no afecta al medio ambiente.

Por otro lado, este trabajo demuestra que es posible realizar un sensor de detección de dióxido de carbono logrando resultados relativamente buenos de aplicación práctica y económica.

Cabe mencionar que la ventilación no es una medida independiente y debería implementarse como parte de un conjunto de medidas entre las cuales las más importantes y efectivas son el distanciamiento físico, el uso de una mascarilla y el lavado frecuente de manos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Chun-Ru Du, S.-C. W. (2019). Effect of ventilation improvement during a tuberculosis outbreak in underventilated university buildings. *Wiley*.
- [2] OMS. (2020). Preguntas y respuestas sobre la transmisión de la COVID-19. <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>.
- [3] Y.A. Cengel, J. C. (2006). *Mecánica de los fluidos, fundamentos y aplicaciones*.

Fecha de recepción: 6/8/2025

Fecha de aceptación: 5/9/2025