



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## VISIÓN ELECTRÓNICA

Algo más que un estado sólido

<https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>



### **Sistema de control y monitoreo para electroválvulas de gas de uso doméstico**

*Control and monitoring system for domestic gas solenoid valves*

***Andrés Felipe Lesmes Mahecha, Oscar David Tovar Ortiz***

#### **Resumen**

Se desarrolló un sistema de visualización, monitoreo y control para electroválvulas de gas de uso doméstico. El sistema cuenta con la implementación de dos sensores de monóxido de carbono y gas metano, a partir de la lectura realizada por el microcontrolador Mbed Nucleo 446RE de los sensores, se realiza un proceso de control para la electroválvula de gas que permitirá censar la cantidad o concentración de gases permitida en la zona bajo los estándares de seguridad, es decir que una vez los sensores detecten una sobre concentración de gas el sistema se encargara deshabilitar la electroválvula y activar los indicadores de peligro, que para este caso cuenta con un sistema de alarma sonora, junto con tres indicadores luminosos y una pantalla lcd que permitirán al usuario identificar el peligro y el estado actual de la concentración de gases.

El sistema cuenta con un protocolo de comunicación serial con un microprocesador de desarrollo Raspberry pi que permite por medio de un servidor alojado en la tarjeta, la comunicación vía internet entre el sistema de control y monitorio junto con una interfaz gráfica de usuario desarrollada para que la persona se informe desde cualquier parte con acceso a

internet sobre el estado actual de la válvula y si la concentración de gas en la zona se encuentran dentro lo estipulado en el marco de la seguridad.

**Palabras clave:** Algoritmo, electroválvula, interfaz gráfica, IdC, sensores de gas metano y monóxido de carbono, servidor web.

### **Abstract**

A visualization, monitoring and control system for domestic gas solenoid valves was developed. The system has the implementation of two carbon monoxide and methane gas sensors, based on the reading made by the Mbed Nucleo 446RE microcontroller of the sensors, a control process is carried out for the gas solenoid valve that will allow the quantity or gas concentration allowed in the area under safety standards, that is, once the sensors detect an over concentration of gas, the system will disable the solenoid valve and activate the danger indicators, which in this case has an alarm system It will sound, together with three indicator lights and an LCD screen that will allow the user to identify the danger and the current state of the gas concentration.

The system has a serial communication protocol with a Raspberry pi development microprocessor that allows, through a server hosted on the card, communication via internet between the control and monitoring system together with a graphical user interface developed so that the person is informed from anywhere with internet access about the current status of the valve and whether the gas concentration in the area is within the stipulated safety framework.

**Keywords:** Algorithm, Solenoid Valve, Graphical interface, IoT, Gas and carbón monoxide sensors, web server.

## **1. Introducción**

La internet de las cosas (IdC) ha sido una metodología que ha evolucionado con el pasar del tiempo, que comenzó a finales de 1990 con el desarrollo de investigaciones en el campo de la tecnología de los sensores, constituyendo un cambio extremo en la forma y calidad de vida de la población [1]; La informática y la electrónica se vieron rápidamente envueltas de esta nueva tecnología y se empezaron a desarrollar todo tipo de aplicación, volviendo a los aparatos “inteligentes”, se le llamo domótica a aquel sistema capaz de automatizar funciones dentro de una vivienda o edificación de cualquier índole, y que nos permite aportar beneficios a estos mismos lugares, dado que fue tan grande el espectro de esta tecnología hasta el día de hoy, su campo de aplicación es bastante denso, por ende, este proyecto se basó solamente en una pequeña parte de esta tecnología (IdC) y orientado a la domótica específicamente, la cual consiste en controlar y monitorear una electroválvula de gas, que nos proporcionara la automatización del uso de esta instalación. [2]

Con el fin de mejorar y garantizar la seguridad del usuario y del área de instalación de gas doméstico, estableciendo los criterios básicos de control y monitoreo disminuyendo así todos los riesgos que traen consigo el uso de este combustible. Para poder llevar a cabo este proyecto se hizo uso de esta tecnología innovadora debido a que se busca que los aparatos se vuelvan más eficientes, autónomos, que se auto controlen, entre otras, y que al obtener datos relevantes, estos sean mostrados en una página web, al implementar la internet de las cosas junto con los datos arrojados por los sensores y la electroválvula se logró mejorar la seguridad del área y la seguridad del usuario, evitando los incidentes que pueden ocurrir dentro de las cocinas que contengan este gas, dentro de estos, registrando índice de monóxido de carbono que si superan cierto límite puede llegar a causar envenenamiento, al igual que

registrar fugas de gas que en niveles de baja exposición pueden llegar a causar dolor de cabeza y falta de aliento al realizar esfuerzos físicos, en nivel medio de exposición podría causar síntomas como mareos, náuseas, dolor de cabeza, cansancio o fatiga y que en termino más altos puede causar perdida de la conciencia, además de su inflamabilidad, todos estos riesgos se vieron disminuidos al actuar de la electroválvula que si detecta índices superiores a los ya establecidos, procederá a cerrar el paso del gas y a alertar al usuario, para que este tome las medidas pertinentes frente al caso.

## **2. Desarrollo del proyecto**

El desarrollo del proyecto se dio a partir del funcionamiento de una electroválvula de gas, junto con dos sensores de gas metano y monóxido de carbono, que por medio de un control programado efectuará el continuo monitoreo de la zona más habituada del hogar que para este caso será la cocina.

Para el funcionamiento adecuado del sistema el proyecto está conformado por una etapa de calibración de los sensores, que permitirán al usuario tener la lectura real en partes por millón (PPM) de los gases, de esta forma a partir de la lectura obtenida, se desarrolla un algoritmo de control para la electroválvula, que permite un manejo más seguro del gas en la zona y evita posibles riesgos de intoxicación e incendio.

Posteriormente se desarrolla un sistema de visualización dinámica por medio de una pantalla física, donde se puede observar los niveles leídos por los sensores, además de mostrar el estado de la válvula, (encendida, apagada) y un mensaje de peligro que se activara únicamente si en la zona se encuentra cierta cantidad de gas peligroso para la salud, el proyecto además consta con un servidor web desarrollado en la tarjeta Raspberry pi 3, donde se podrán subir los datos a una página web y observar el funcionamiento de la válvula junto con las lecturas

realizadas por los sensores y efectuar el cierre directo de la válvula en caso de que el usuario lo disponga, el sistema montado en la tarjeta Raspberry pi 3 cuenta además con un protocolo MQTT donde también se podrá visualizar por medio de una interfaz gráfica didáctica el monitoreo total de proyecto.

## **2.1. Calibración de los sensores.**

Para la calibración adecuada de los sensores se utilizaron primordialmente dos librerías de la tarjeta Mbed compiler denominadas MQ-7 y MQ-4, junto con una formula base denominada método de regresión lineal, las librerías permiten transformar la lectura análoga de la tarjeta y realizar el algoritmo que finalmente proporciona la lectura en PPM.

### **2.1.1. Método de regresión lineal Monóxido de Carbono:**

El método de regresión lineal lo utilizamos a partir de las gráficas mostradas en el documento oficial de los sensores (datasheet) [3]. Para comenzar observamos la gráfica en la figura 1, vemos que nos permite ver la curva característica de los gases que el sensor puede leer, para el primer caso utilizaremos la gráfica del sensor de monóxido de carbono, En esta gráfica, teniendo en cuenta las escalas podemos asimilar a una función potencial, que podemos reflejar de la siguiente manera en la ecuación 1:

- Donde  $a$  es una constante de crecimiento y  $b$  es el factor potencia.
- $X$  lo definimos como la cantidad de partículas por millón en el ambiente.
- $R_s$  es la resistencia del sensor que depende del valor análogo leído por el microcontrolador.
- $R_o$  es la resistencia del sensor a cierta cantidad de ppm en la zona.
- $y$  es la división de  $R_s / R_o$ .

$$y = a * X^b \quad (1)$$

Seguindo la idea junto de la gráfica el resultado de la función potencia la podemos convertir de la siguiente manera en la ecuación 2:

$$\frac{RS}{RO} = a(ppm)^b \quad (2)$$

Una vez tenemos la función potencia, a partir de la gráfica y junto con un programa denominado webplotdigitizer [4], que nos permite sacar las coordenadas de los puntos de la curva del gas a utilizar, realizamos la marcación de los puntos mostrados en la gráfica relacionada directamente con el gas que deseamos aplicar el método de regresión lineal.

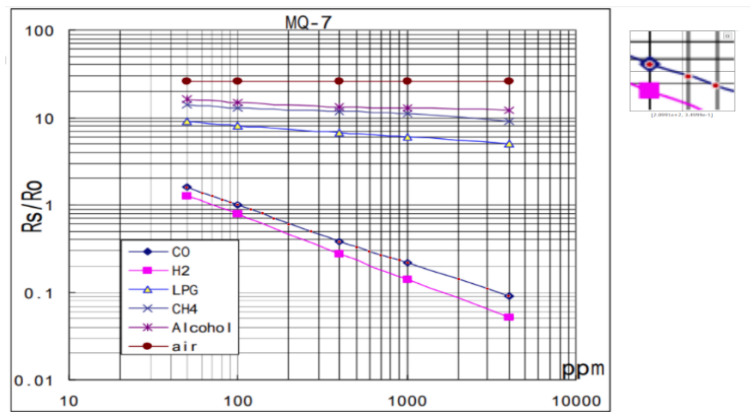


Figura 1: Definición de los puntos de lectura. [4]

Luego de marcar los puntos le damos en obtener las coordenadas y posteriormente guardamos los resultados obtenidos en la tabla 1 calibración sensor MQ-7. Luego al obtener los resultados utilizamos la fórmula de regresión lineal que definimos de la siguiente manera:

$$y = a * X^b \quad (1)$$

Aplicamos logaritmo a ambos lados de la igualdad para poder aplicar la regresión lineal.

$$\log y = \log a X^b$$

$$\log y = \log a + b * \log X$$

Una vez se utiliza las propiedades logarítmicas obtenemos una función lineal que definimos como:

$$Y' = A' + bX' \quad (3)$$

- Donde  $Y'$  es el logaritmo de  $y$ , es decir  $(\log y)$ .
- $A'$  es el logaritmo de la constante  $a$ , es decir  $(\log a)$ .
- $X'$  es el logaritmo de  $X$  o de las ppm que se desean calcular, es decir  $(\log X)$ .

Donde la constante  $b$  se obtiene aplicando la siguiente ecuación 4:

$$b = \frac{(n(\sum XY') - (\sum X')(\sum Y'))}{n(X'^2) - (\sum X')^2} \quad (4)$$

Para obtener  $A'$  aplicamos:

$$A' = \text{promedio}(Y') - b * \text{promedio}(X') \quad (5)$$

Luego para obtener constante  $(a)$  aplicamos:

$$10^{A'} = 10^{(\text{promedio}(Y') - b * \text{promedio}(X'))} \quad (6)$$

- Donde al aplicar  $10^{A'}$  por de regla de logaritmo obtenemos la constante  $a$ .

Para que los datos de las formulas fueran más precisos realizamos el proceso en Microsoft Excel [5] como se puede observar en tabla 1 calibración sensor MQ-7.

x	y	v=log(y)	x'=log(x)	(x')*(y')	x'^2
197,6085537	1,754562319	0,244168798	2,29580574	0,560564128	5,270723994
296,7605594	1,53615464	0,186434937	2,47240618	0,460942891	6,112792324
394,481363	1,377662786	0,139142927	2,59602649	0,361218725	6,739353537
498,3927819	1,281343393	0,107665534	2,69757174	0,290435502	7,276893314
598,4693903	1,191597931	0,076129741	2,77704194	0,211415483	7,711961951
697,0550986	1,121630765	0,049849913	2,84326711	0,141736618	8,084167848
795,5404225	1,081754564	0,034128736	2,90066225	0,098995937	8,413841498
889,6667773	1,043239925	0,018384199	2,94922737	0,054219184	8,697942098
994,9299271	0,993913655	-0,00265134	2,99779249	-0,007948175	8,98675984
1295,933694	0,902244603	-0,04467571	3,11258278	-0,139056836	9,688171571
1849,729265	0,799508412	-0,09717696	3,26710817	-0,317487648	10,67399578
1986,15549	0,780409929	-0,10767721	3,29801325	-0,355120877	10,87689136
2777,848839	0,699985713	-0,15491082	3,44370861	-0,533467738	11,85912899
2982,728243	0,683264607	-0,16541107	3,47461369	-0,574739585	12,07298199
3964,916043	0,620280203	-0,20741208	3,598234	-0,746317195	12,94728789
4389,18722	0,598179746	-0,2231683	3,64238411	-0,812864654	13,26696198
4908,504883	0,576882238	-0,23891283	3,69094923	-0,881815135	13,6231062
5954,351069	0,536491758	-0,27043695	3,77483444	-1,020854697	14,24937503
6935,209784	0,498875552	-0,30200778	3,8410596	-1,160029879	14,75373887
7915,069746	0,481139535	-0,31772896	3,89845475	-1,238651955	15,19794941
8942,004387	0,46402159	-0,33346181	3,95143488	-1,317652637	15,6138376
8942,004387	0,46402159	-0,33346181	3,95143488	-1,317652637	15,6138376
9898,855599	0,442069921	-0,35450903	3,99558499	-1,416470976	15,9646994
78105,40352	19,92923538	-2,29769789	75,4701987	-9,660602157	253,6964001
<b>promedio</b>	<b>promedio</b>	<b>promedio</b>	<b>promedio</b>	<b>promedio</b>	<b>promedio</b>
3395,88711	0,866488495	-0,099899908	3,281312986		
		<b>A' =</b>	<b>VALOR DE CONSTANTE B</b>		
		1,049570985	-0,350308214		
		<b>VALOR CONSTANTE A</b>			
		11,20910622			

Tabla 1: calibración del sensor MQ-7. [5]

Luego graficamos los datos y obtenemos la ecuación en la figura 2, donde se refleja la curva característica del gas, que para este caso es monóxido de carbono, una vez esto podemos

confirmar que los valores concuerdan con los datos obtenidos con el método de regresión lineal.

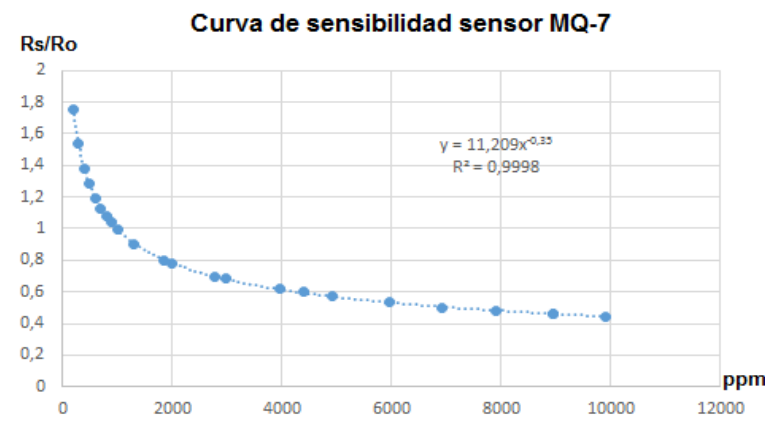


Figura 2: Curva característica del monóxido de carbono [4]

Para calcular el valor de RS/RO, por definición del circuito interno del sensor decimos que, para calcular RS, realizamos un divisor de voltaje [5].

$$RS_{sensor_{mq7}} = \left( \frac{V_c}{V_o} - 1 \right) * RL \quad (7)$$

- Donde Vc es el valor con el que se alimenta directamente el sensor.
- Vo es el valor de voltaje que tenemos a la salida del sensor una vez realice la lectura.
- RL es la Resistencia de carga, que para el caso del sensor será de 1kΩ.

RO se calcula teniendo como base la gráfica en la figura 1, es decir para que  $\frac{RS}{RO} = 1$ , ambas deben valer igual. Para calcular RO en aire limpio siguiendo la hoja de característica del sensor [5], el valor RS varía entre 2kΩ y 20kΩ para un valor de 100 PPM, si hacemos una regla tres decimos que:

Entonces:

$$\begin{matrix} 2k\Omega \text{ son } 20 \text{ ppm} \\ x \text{ k}\Omega \text{ cuantos son } 100 \text{ ppm} \end{matrix}$$

El resultado nos da que RS a 100 PPM es 10 kΩ es decir que RO en aire limpio es de 10 kΩ. Una vez hallamos RO en aire limpio decimos que RO se calcula [5].



$$R_O = \frac{R_{Sensor_{mq7}}}{R_O \text{ en aire limpio}} \quad (8)$$

### 2.1.2. Método de regresión lineal Metano

Como se detalló en el índice 2.1.1 las fórmulas para realizar el método de regresión lineal se aplican exactamente para el sensor MQ-4. Para este caso utilizamos la gráfica que corresponde a la hoja característica del sensor [6], como se observa en la figura 3.

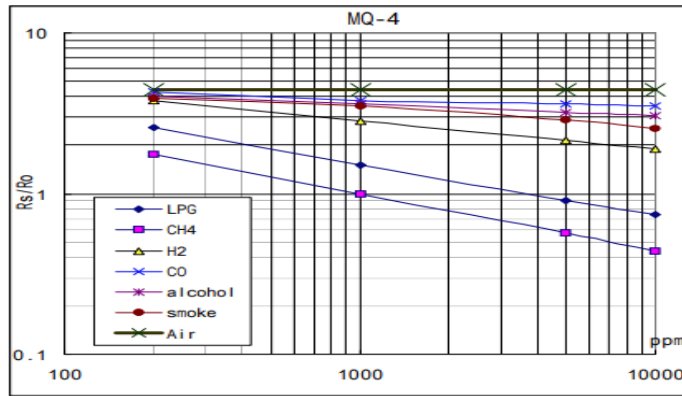


Figura 3: Curva característica de gas Metano [6]

Una vez se realiza el proceso de obtener los datos de la curva correspondiente al metano guardamos los datos en la tabla 2, y realizamos el método de regresión lineal para obtener las constantes a y b. posteriormente en la figura 4 se puede observar la gráfica junto con la curva y la ecuación que corresponde al gas metano.

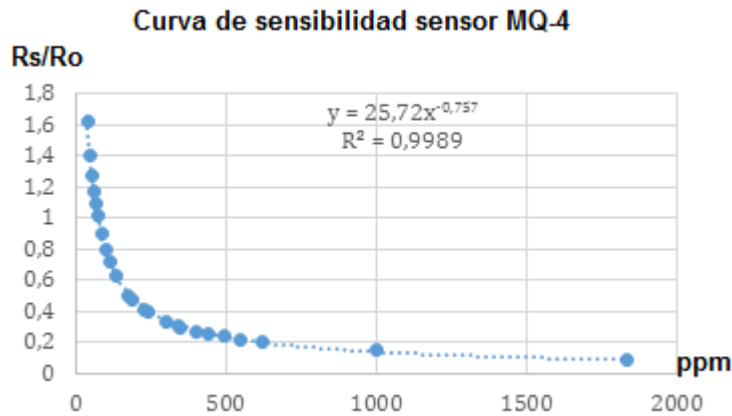


Figura 4. Curva característica de gas Metano [4]

x	y	y'-log(y)	x'-log(x)	(x')*(y')	x'al 2
40,18854314	1,621394247	0,209888628	1,60410226	0,336682823	2,57314407
47,94243753	1,394485585	0,144414029	1,68072011	0,242719563	2,824820091
54,17054893	1,27089768	0,104110587	1,73376324	0,180503108	3,00593496
60,38272126	1,171773446	0,068843652	1,78091268	0,122604533	3,171649979
66,8521357	1,092968219	0,038607534	1,82511529	0,0704632	3,331045807
73,01703776	1,007761289	0,003357672	1,86342421	0,006256767	3,472349787
85,9307055	0,897366458	-0,04703017	1,93414838	-0,090963323	3,740929946
98,4204131	0,799106672	-0,09739524	1,99308518	-0,194117017	3,972388549
112,7254531	0,71160613	-0,14776032	2,05202199	-0,303207424	4,210794246
132,6618829	0,626363894	-0,20317328	2,12274616	-0,431285308	4,506051247
191,3707389	0,468696017	-0,32910874	2,28187553	-0,750985176	5,206955951
228,2934134	0,412540809	-0,38453308	2,35849338	-0,906918735	5,562491031
242,6693598	0,389305078	-0,40970993	2,38501494	-0,977164309	5,688296285
299,4794273	0,334801207	-0,47521298	2,47636699	-1,17680175	6,132393489
338,3842334	0,305129061	-0,51551643	2,52941012	-1,303952467	6,397915553
350,0614771	0,294699732	-0,53062026	2,54414432	-1,349974518	6,472670326
400,9416074	0,268574587	-0,57093508	2,60308113	-1,48619034	6,776031355
440,8967439	0,253430929	-0,59614038	2,64433689	-1,576396012	6,992517596
491,4579179	0,236383852	-0,62638219	2,69148634	-1,685899117	7,244098699
547,8173482	0,22048345	-0,656624	2,73863578	-1,79825399	7,500125943
623,1975641	0,19862858	-0,70195826	2,79462575	-1,961710634	7,809933067
175,2131146	0,496696241	-0,30390913	2,24356661	-0,681840369	5,033591132
1002,085017	0,145199452	-0,83803502	3,00090457	-2,514863127	9,00542823
1833,045968	0,091296359	-1,03954654	3,26317336	-3,392220583	10,64830035
<b>7937,205809</b>	<b>14,70958897</b>	<b>-7,90436896</b>	<b>55,1451552</b>	<b>-21,6235142</b>	<b>131,2798577</b>
promedio	promedio	promedio	promedio		
330,7169087	0,612899541	-0,329348707	2,2977148		
		A'=	VALOR DE CONSTANTE B		
		1,410278072	-0,757111709		
		VALOR CONSTANTE A			
		25,72042093			

Tabla 2. Calibración del sensor MQ-4 [5]

### 2.1.3. Librería MQ-7 y MQ-4

Estas librerías están desarrolladas con el fin de realizar una lectura en PPM de monóxido de carbono y gas metano, la librería utiliza como código base el lenguaje de programación C, este lenguaje se utiliza por su fácil desarrollo y comprensión de los algoritmos. La librería está configurada a partir de un método de regresión lineal donde por medio de las gráficas obtenidas en el documento oficial de los sensores (datasheet), podemos obtener la curva característica de los elementos que deseamos medir para este caso CO Y CH4, como podemos observar en la figura 5-6, la librería utiliza internamente el procedimiento mencionado en el índice 2.1.1.

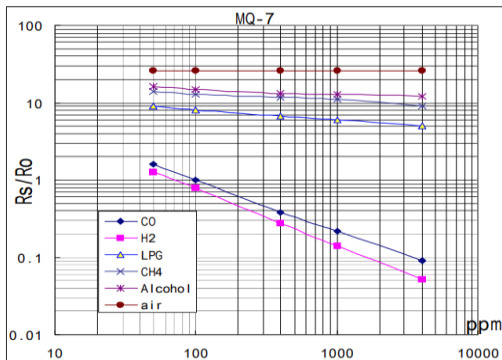


Figura 5: curvatura sensor MQ-7 [3]

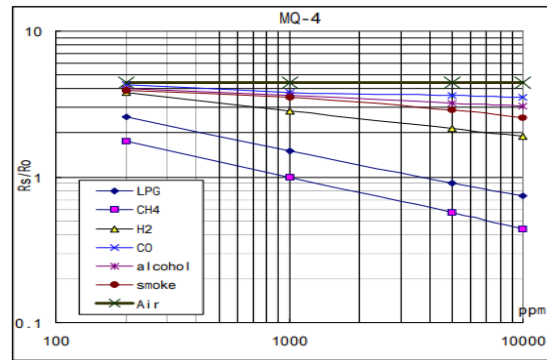


Figura 6: curvatura sensor MQ-4. [6]

## 2.2. Sistema de control

Para el Sistema de control se tomó como figura principal la lectura de los sensores de metano y monóxido que nos brinda la librería MQ-4 y MQ-7, consta de un control de electroválvula para gas, un sistema de alarma y un semáforo que referencia bajo su color el nivel de peligro que genera la lectura de los sensores.

### 2.2.1. Control de electroválvula de Gas.

La electroválvula cuenta con un módulo relee de 5v DC a 110v AC, la electroválvula bajo características del vendedor, es una válvula unidireccional normalmente cerrada, es decir que cuenta con una bobina que se abrirá únicamente al aplicarle un voltaje AC de 110v, el control programado cuenta con un botón físico que permite abrir la válvula. una vez abierta manualmente la válvula está regida bajo la lectura de los sensores, cuando los valores superen el límites (en monóxido de carbono mayor a 50 PPM y en gas metano mayor a 0 PPM) [7] [8] permitido para cualquiera de los dos sensores, esta automáticamente se cierra como se puede observar en las figuras 7-8. Adicionalmente la válvula tiene la posibilidad de únicamente cerrar, con un botón digital que se encuentra en la página web y en la interfaz del protocolo MQTT.



Figura 7: electroválvula cerrada.

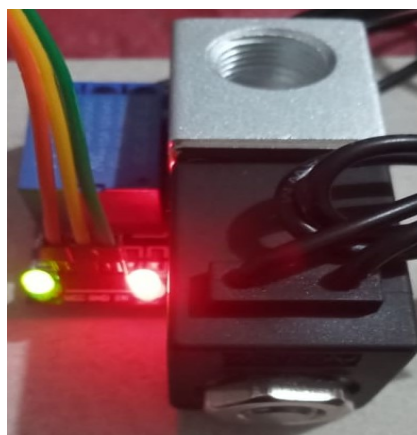


Figura 8: electroválvula abierta.

### 2.2.2. Sistema de alarma

El sistema de alarma consta de un buzzer sonoro, que emite una frecuencia intermitente y permite verificar el estado de alerta; Este sistema se activara únicamente si la concentración de cualquiera de los dos gases es nociva para la salud o superan el valor permitido de PPM en la zona. La alarma se detendrá cuando la concentración de gases disminuya a nivel estándar de normalidad.

### 2.2.3. Indicador de peligro semáforo

El sistema indicador semáforo consta de 3 leds, que, bajo su color verde, Amarillo, rojo generan una señal visual de la concentración de PPM que se encuentra en la zona; El color rojo indica que la concentración ya se encuentra en su punto crítico, es decir que ya es nocivo para la salud, el color amarillo indica que hay cierta cantidad de gas en la zona, pero no representa una concentración nociva para el cuerpo, El color verde permite al usuario identificar que la zona está libre de gas o la concentración es muy pequeña y no representa peligro en el área como se muestra en las figuras 9,10,11.



Figura 9: nivel peligroso

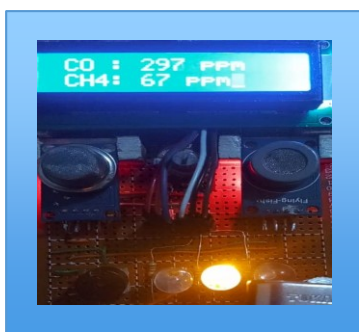


Figura 10: nivel medio-nocivo a largo plazo

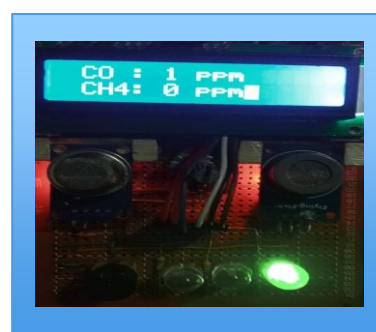


Figura 11: nivel permitido

## 2.3. Pantalla LCD

para el uso de la LCD se dispuso una librería TextLCD.h que nos permito enviarle cadenas de caracteres desde el microcontrolador Mbed al módulo de la LCD, esto con el fin de mostrar la

*Visión Electrónica, vol. 1, no. 1, may 2021, Bogotá (Colombia)*

información requerida para que el usuario pueda saber en qué condición se encuentra la zona, además de tener un control y monitoreo constante en la misma.

La pantalla está configurada para mostrar primordialmente las partículas por millón que detectan los sensores, es una pantalla física como se puede observar en la figura 12.

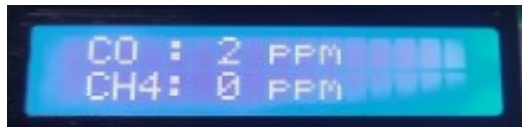


Figura 12. Pantalla física LCD 16\*2

## 2.4. Servidor web

El servidor web comunica la lectura de los sensores que la tarjeta de monitoreo recibe junto con el protocolo MQTT y su interfaz, adicionalmente con la página web de red local, el servidor es la puerta para poder unir al usuario desde cualquier sitio con acceso a internet con el sistema de control de válvula y monitoreo de los gases.

### 2.4.1. Desarrollo del servidor web

Para el desarrollo del servidor web se utilizaron las librerías: flask, serial py, render\_template, la librería serial py se encarga de comunicar la tarjeta de programación Mbed Núcleo F446RE con la tarjeta de desarrollo Raspberry pi, esta librería permite que la Raspberry pi reciba los valores que son impresos por puerto serial desde la tarjeta Mbed, Esto con el fin de tener los valores para luego trabajar con ellos y lograr publicarlos en la página web y en la interfaz de Usuario MQTT.

La librería flask nos permite crear un servidor con una dirección IP estática y un puerto, es decir que cuando el cliente realiza una petición a dicha dirección se redirigirá automáticamente a la página web sin tener que mirar nuevamente la dirección, es una librería sencilla que

permite al usuario tener la conexión desde internet a la lectura de los sensores y al estado de la válvula.

La librería `render_template` es un puntero que permite almacenar la información y posteriormente comunicarse con la página web, esta librería trabaja de la mano con flask para poder ejecutar de forma correcta el servidor.

#### **2.4.2. Página Web**

La página web está construida principalmente en HTML, este lenguaje es sencillo de utilizar y nos permite crear una interfaz donde se van a mostrar los valores en partículas por millón de los sensores y graficas de cada sensor en el tiempo, adicionalmente tiene incorporado la opción de un botón que permite comunicarle a la tarjeta de programación Mbed que debe cerrar la válvula en caso de que este abierta y el usuario desea cerrarla virtualmente, esta página no tiene la opción de abrir la válvula ya que esto podría generar inseguridad para el usuario y la zona donde se aplica el proyecto.

#### **2.4.3. Protocolo MQTT**

MQTT es un protocolo de comunicación de mensajes entre el cliente y un servidor basándose en publicaciones, cada vez que un mensaje es publicado en la plataforma será recibido por los dispositivos vinculados a este, además los clientes activos, no podrán tener comunicación entre sí, lo que permite que la efectividad de la entrega de datos sea muy rápida.

El protocolo MQTT se desarrolla directamente en la tarjeta Raspberry pi, una vez montado el sistema con el servidor web, se desarrolla la interfaz a la cual daremos los comandos y los suscribimos a los llamados tópicos para la visualización de los datos y el control de la válvula.

### **3. Resultado Obtenidos**

El proyecto consta de tres partes fundamentales para el correcto uso de la aplicación, para la primera parte se desarrolló una estructura que está conformada por la publicación de los resultados en una pantalla LCD, un sistema detector, en este caso los sensores, el sistema de alarma y los indicadores luminosos de peligro, la segunda parte está conformada por una página web que permite visualizar el estado de la válvula, la publicación de la lectura sensorial, el botón de comunicación para cerrar la válvula y los mensajes de peligro, la tercera parte consta de una interfaz de usuario con un protocolo MQTT que le permitirá al usuario desde cualquier parte con acceso a internet tener la lectura de los sensores gráficamente, los indicadores de peligro, el estado actual de la válvula y el botón de cerrar junto con los mensajes de precaución.

### 3.1 Sistema de visualización de sensores y estado actual de la válvula

En primera instancia, la primera parte de la interfaz gráfica será mediante esta LCD, se tendrán los mensajes principales de agrado para el usuario, son datos no basados en información, como vemos en la figura 13, se tendrán un par de mensajes cada vez que se encienda el sistema.



Figura 13: mensajes de protocolo de bienvenida

Como se mencionó anteriormente el microcontrolador se encarga de recibir un voltaje por parte de los sensores que mediante un algoritmo son convertidos a valores en PPM, y según la resolución 41385 de 2017 [7], establece que cuando una instalación de gas doméstica presente valores de monóxido de carbono entre los 15 y los 49 PPM no presenta riesgo y se considera un defecto no crítico, estos valores están permitidos y que dentro de este rango no

se generara una alarma por parte del microcontrolador sino que por el contrario, como podemos observar en la figura 14 nos mostrara los valores de los sensores en PPM, el monóxido de carbono (dado por las siglas CO) y el gas metano (dado por las siglas CH4).



Figura 14: valores en PPM de los sensores.

Ahora bien, según la resolución 41385 de 2017 [7], valores de monóxido de carbono que iguallen o superen los 50 PPM, se consideran un riesgo y por tanto es calificado como un riesgo crítico, en este caso, el microcontrolador mandara alertas al usuario mediante la LCD para que se informe que se presentan concentraciones elevadas y por consiguiente se generara el cierre de la electroválvula como podemos ver en la figura 15.



Figura 15: Mensaje de advertencia para usuarios.

Según la resolución 90902 de 2013 [8], una instalación interna de gas combustible no debe tener defectos, entendiéndose a este término como la hermeticidad de la instalación y para medir si presenta una fuga se debe hacer sobre la presión del servicio, usando el sensor MQ-4, se realizó la medición de fugas en la instalación de la forma contemplada en la normatividad



vigente, en la figura 16 podemos apreciar cuando el sistema no presenta fugas y en este caso los mensajes son informativos y se visualiza la información en valores PPM de la instalación.



Figura 16: valores de gas metano en la instalación.

En caso contrario, la interfaz mostrará mensajes de alerta al usuario, y consiguiente a este el cierre de la electroválvula, impidiendo el paso del gas, como se puede evidenciar en la figura 17, un mensaje de alerta debido a los índices altos de PPM en el ambiente será mostrado como señal de peligro para la instalación y el usuario que este en la zona.



Figura 17: presencia de fugas en la instalación.

### 3.2 Sistema de monitoreo detección de gas y monóxido de carbono

La estructura cuenta con la placa principal PCB donde tenemos ubicados los sensores de lectura estos están conectados directamente a la placa de programación Mbed Núcleo adicionalmente tenemos conectado un buzzer para el indicador sonoro de alarma, aplicamos también tres leds indicadores luminosos de peligro, conexión de una electroválvula, una pantalla LCD para la publicación de los mensajes y un potenciómetro que nos permite graduar el brillo de la pantalla como se puede observar en la figura 18.



Figura 18. Estructura final

### 3.2.1 Sensores MQ\_4 y MQ\_7

Los sensores están conectados directamente a la tarjeta de programación Mbed Nucleo, los sensores envían una señal analógica a la tarjeta que posteriormente por programación son convertidos a los valores en partes por millón de la cantidad de gas o monóxido de carbono que se detecte.

### 3.2.2 Sistema de alarma

Como se puede observar en la figura 20 se encuentra ubicado el buzzer de alarma sonora, este será activado una vez los sensores detecten niveles peligrosos de PPM en la zona, la alarma se detendrá una vez los niveles estén dentro de los permitidos.

### 3.2.3 indicadores de peligro

El indicador de peligro como se puede observar en la figura 20 consta de tres leds de color verde, amarillo, rojo, estos leds permitirán al usuario identificar de forma rápida si hay algún tipo de fuga en la zona, el color verde indica que los niveles son estables y no hay algún tipo de peligro, el amarillo indica que hay alguna lectura de los sensores pero los niveles no son perjudiciales a corto plazo para el usuario y el color rojo indica que los niveles son perjudiciales para el usuario y por ende emite una señal de forma intermitente para que de este forma el usuario se percate de forma eficaz al peligro que está ocurriendo en la zona.

### 3.3 Control de electroválvula

Como se puede observar en la figura 19 la estructura consta con una conexión a un módulo relee que tiene como parámetros 5v DC a 110 AC y la conexión a una electroválvula, que se activara o desactivará bajo el algoritmo de control, adicionalmente el usuario solo tendrá la posibilidad de cerrar desde la página web o la interfaz MQTT la válvula si lo desea, la tarjeta una vez detecte los niveles peligrosos de concentración de gas, cerrara automáticamente la válvula impidiendo el paso.

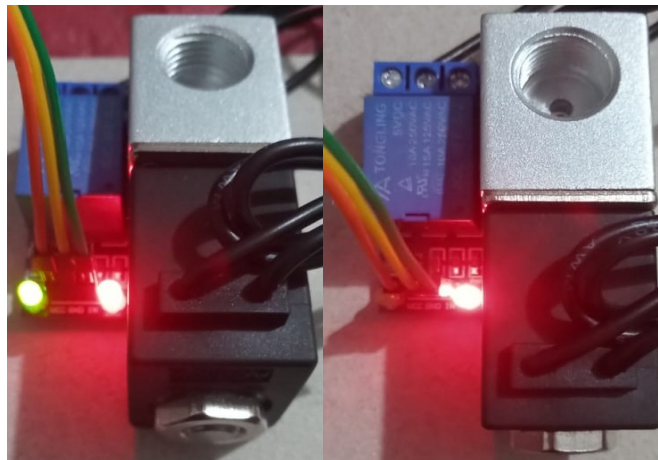


Figura 19. Cierre automático de la Electroválvula

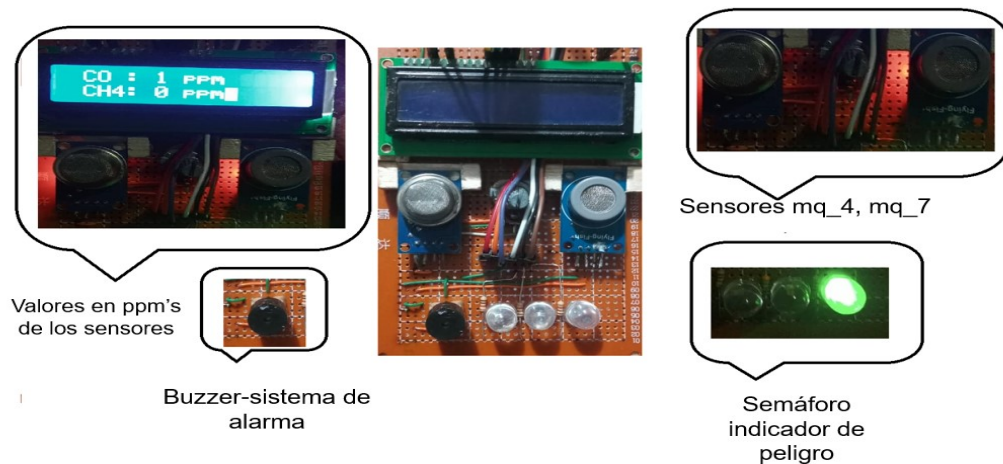


Figura 20. Circuito PBC con los elementos principales

### 3.4 servidor web

El servidor web se encarga de suministrar la comunicación entre la lectura de los sensores dados por la tarjeta y la publicación de los resultados en una página web junto con un protocolo MQTT que proporciona una interfaz de usuario que también permite la lectura de los valores y evidencia el estado de la válvula.

#### 3.4.1 interfaz gráfica y página web

La página web está diseñada con tres pestañas, la primera pestaña consta de un mensaje de bienvenida y una interfaz de usuario en donde podemos observar el logo de la universidad, como se aprecia en la figura 21 posteriormente cuenta con un botón de continuar donde nos re direccionará a la página principal de la página.

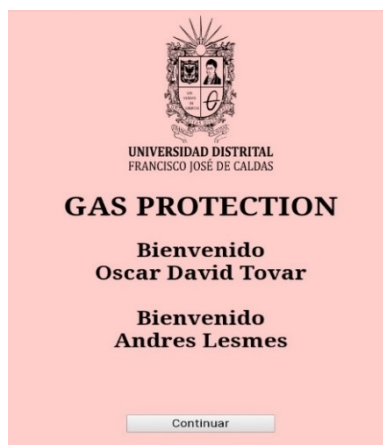


figura 21. Pestaña de bienvenida e ingreso.

La pestaña numero dos es la estructura principal de la página, cuenta con un label que nos permite identificar la hora y la fecha del día, tiene una interfaz que nos permite verificar los datos que se están registrando desde la tarjeta que cuenta con el código de lectura de los sensores; Adicionalmente tiene otro label que le permite identificar al usuario si la válvula se

encuentra abierta o cerrada, para finalizar la pestaña tiene en su interfaz un botón que le permite al usuario únicamente cerrar la válvula como se puede observar en la figura 22.



figura 22. Pestaña principal de la página web

la pestaña número 3, es básicamente un mensaje de peligro que le informa al usuario que los datos recolectados o la lectura de los sensores es superior a los permitidos por el reglamento o código de control de la válvula. El mensaje advierte que la válvula se cerró automáticamente y que se encuentra una fuga, adicionalmente presenta que si desea abrir la válvula deberá realizar la acción de forma física, ya que la interfaz no cuenta con la acción de abrir la válvula digitalmente, como se puede observar en la figura 23.



figura 23. Mensaje de peligro o advertencia

### 3.4.2 Interfaz gráfica y protocolo MQTT

Con el protocolo de comunicación logramos sincronizar la publicación de los sensores y acciones de la electroválvula, en este caso, logramos comunicar la información de los sensores a la página web y adicionalmente graficarlas, con un adicional que es mostrar el valor obtenido en tiempo real de los sensores, como se observa en la figura 24, se grafica los valores obtenidos en el tiempo y el valor en número del dato obtenido en tiempo real, podemos notar que no hay fugas de gas y que las concentraciones de monóxido de carbono están dentro del límite permitido para este combustible.

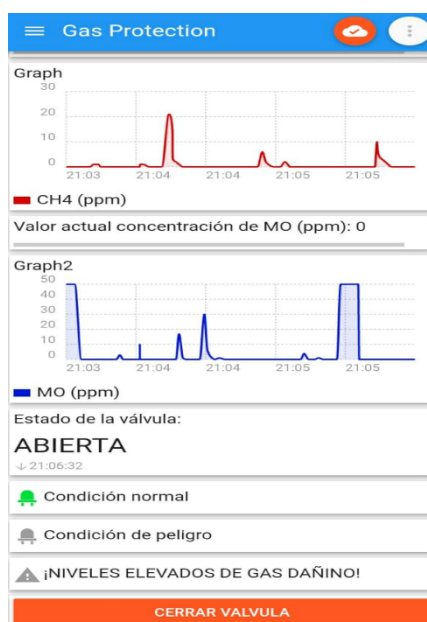


figura 24. Interfaz MQTT, niveles permitidos de gases.

Para que la plataforma fuera más sencilla de entender, mediante colores logramos diferenciar las fugas de gas (color rojo) abreviada con la sigla CH4 y el monóxido de carbono (color azul) abreviado con las siglas CO; Adicionalmente podemos observar que en la parte inferior nos arroja la condición en la que se encuentra el área en donde se instaló el servicio de gas doméstico.

En la figura 25 podemos observar que al sobrepasar los límites de monóxido de carbono o gas metano, el protocolo envía información para que se ejecute la acción de cierre de la

electroválvula y nos genera alertas en la parte inferior para que el usuario sepa que se efectuó el cierre y esto obedece a una anomalía encontrada por los sensores, adicionalmente para que el usuario este seguro de que la electroválvula está totalmente cerrada, se adiciono un botón el cual él puede accionar en caso de que haya o no una emergencia en cualquier momento.

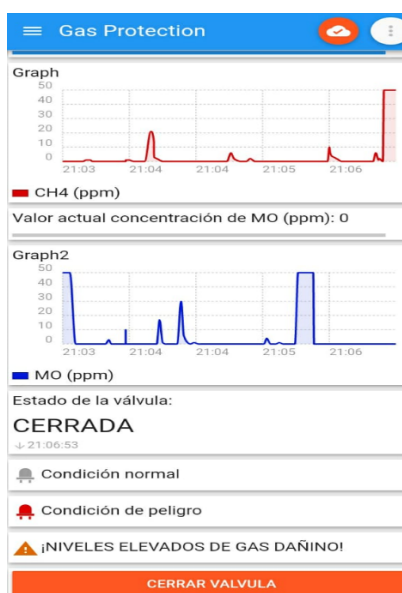


figura 25. Interfaz MQTT, niveles peligrosos de gases

### 3.5 Protocolo de seguridad y prevención

El sistema cuenta con un protocolo de seguridad y prevención de riesgos, para este caso el proyecto cuenta con un algoritmo que únicamente le permite al usuario cerrar de forma virtual la electroválvula es decir que por ningún motivo la electroválvula se podrá habilitar de forma remota.

El sistema cuenta con una electroválvula unidireccional normalmente cerrada, es decir que para el caso que no llegase a tener energía, está se cerrara automáticamente, ya que en su interior cuenta con una bobina que solo se activara si existe energía para alimentación. El sistema físico del proyecto debe ir ubicado a una distancia mínima de 30 cm entre la tubería

de gaseoducto y el relevo de activación conectado a la electroválvula, con el fin de evitar algún tipo de contacto entre una fuga de corriente y la instalación de la válvula.

### **3.6 Errores, falencias y dificultades durante el proceso**

Todo proyecto tiene sus barreras y este no es la excepción, se evidenciaron dificultades en la etapa de calibración de los sensores, ya que estos no son lineales lo que impide que se obtengan los valores correctos, además falencias en la visualización de la información en la LCD, ya que los mensajes podrían ser demasiado largos y no podrían verse completamente, se usó mensajes con texto en movimiento, pero si el usuario se encuentra distraído los mensajes podrían no ser notados y no saber el motivo por el cual se realizaron los procedimientos de cierre de la electroválvula, esto se reforzó con la interfaz en el servidor web, en donde se muestra detalladamente la falla que causo el cierre de la electroválvula.

### **3.7 Mejoras a futuro**

Para posteriores mejoras del proyecto, de manera general, ampliar el uso de este a instalaciones de gas en industrias, en donde también pueden presentarse riesgo para el recurso humano que este dentro de las instalaciones, ya teniendo una visión más detallada dentro del proyecto, podría realizarse una conexión inalámbrica de los sensores para que se puedan tener más detallados los datos obtenidos a partir de la normatividad referente a las distancias de medición del monóxido de carbono y las fugas a lo largo del conducto de toda la instalación de gas y no solo en la terminación de esta, además de evitar futuras rupturas del cableado de estos y demás complicaciones que puedan tener; se podría implementar un protocolo de seguridad del servidor para que el usuario pueda crear su usuario y contraseña, así mismo poder cambiar la información de estos datos cuando él lo desee.



En el apartado de la interfaz gráfica se espera continuar con mejoras, como un mejor diseño y presentación, así como también ayudas para el usuario e información detallada de los datos subidos en esta plataforma.

Para finalizar, por costos del proyecto se podría cambiar el microcontrolador Mbed por un microcontrolador Arduino, una placa más económica que cumpliría con la expectativa y los estándares del proyecto a un costo más económico.

#### **4 Conclusiones**

- Desarrollar un sistema que permita controlar y monitorear una electroválvula de gas instalada en la tubería de gas de uso doméstico es un proyecto que conlleva tiempo, ya que los desarrollos del mismo influyen posibles riesgos a la salud del usuario, por ende, se debe tener máxima precaución con los métodos de calibración y el control de las válvulas.
- La implementación de tecnología internet de las cosas (IdC) permite que el proyecto sea más eficaz y seguro, ya que permite que sea más fácil la recepción de la información, además al acceder desde cualquier sitio, es otro factor que conlleva a que el proyecto sea más útil y permita al usuario estar informado continuamente.
- Involucrar áreas que tengan un riesgo latente para la salud de las personas es de suma importancia mejorar y nos permite hacer uso de la tecnología para controlar y monitorear estas zonas y así evitar el mayor riesgo posible.

#### **Referencias**

- [1] D. Evans, «Internet de las cosas como la proxima evolucion del internet lo cambia todo,» Cisco Internet Bussiness Solution Group, California, 2011.
- [2] F. S. V. Hugo Martin Dominguez, Domotica: Un enfoque socio tecnico, Madrid: Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones, 2006.

- [3] Hanwei Electronics co, «Datos técnicos sensor MQ-7,» Zhengzhou, 2014.
- [4] A. Rohatgi, «WebPlotDigitizer,» PLOTCON, 28 11 2020. [En línea]. Available: <https://automeris.io/WebPlotDigitizer/>. [Último acceso: 2021].
- [5] Microsoft, «Microsoft 365,» [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/es-co/microsoft-365/excel>. [Último acceso: 2021].
- [6] Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co, «Datos técnicos sensor de gas MQ-4,» Zhengzhou, 2014.
- [7] Ministro de minas y energía, «RESOLUCIÓN MME 41385 DE 2017,» constitución política, Bogotá, 2007.
- [8] Ministro de minas y energía , «RESOLUCIÓN 90902,» constitución política, Bogotá, 2013.