



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DESARROLLO DE UNA TARJETA DE
ADQUISICIÓN DE DATOS CON
TECNOLOGÍA ARDUINO PARA
MEDICIÓN DE GASES EMANADOS EN
LOS PROCESOS INDUSTRIALES**

Autor (a):

María Valentina Reyes Rios

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS CON
TECNOLOGÍA ARDUINO PARA MEDICIÓN DE GASES EMANADOS EN LOS
PROCESOS INDUSTRIALES**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor (a):

María Valentina Reyes Rios

Tutor:

Ing. José Pérez Colón

San Diego, junio de 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: DESARROLLO DE UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS CON TECNOLOGÍA ARDUINO POR MEDICIÓN DE GASES EMISOS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Realizado por el (la) Br. MARIA VALENTINA REYES RÍOS
C.I. N° V-29978170 cursante de la carrera de INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral,
considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

José Ramón Perera
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: José Ramón Perera
C.I.: 8829908

Juan Ameglio
Jurado
Nombre: Juan Ameglio
C.I.: V-19804202

Antonio Rodríguez
Jurado
Nombre: Antonio Rodríguez
C.I.: V-14923464

Fecha: 07/07/2023

[Signature]





REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL
TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. José Pérez Colón, portador de la cédula de identidad N° 8.829.908, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el (la) ciudadano (a) María Valentina Reyes, portador (a) de la cédula de identidad N° 29.978.170, titulado **DESARROLLO DE UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA MEDICIÓN DE GASES EMANADOS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 15 días del mes de junio del año dos mil veintitrés.

Ing. José Pérez Colón

C.I: 8.829.908



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

FI E 004 2022-3CR TG

Valencia, 14 de abril de 2023

Ciudadano:
REYES RÍOS, MARÍA VALENTINA
29.978.170
Presente -

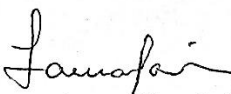
Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 05-2023 de fecha 10/02/2023 aprobó el proyecto de grado titulado:

Desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino para medición de gases emanados en los procesos industriales.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero en Electrónica.

Se ratifica la designación del Tutor Académico que lo asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. José Ramon Pérez Colón, titular de la cédula de identidad V- 8.829.908

Atentamente


Dra. Laura Aurora Sáenz Palencia
Decana de la Facultad de Ingeniería



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, gracias a Dios por darme la oportunidad de haber podido enriquecer mis conocimientos por medio de este hermoso trabajo que tanto me ha enseñado y por haberme permitido trabajar con personas tan maravillosas.

A la universidad José Antonio Páez por ser mi casa de estudios durante todos estos años y permitirme ser una persona diferente llena de conocimientos y experiencias nuevas.

A mi tutor, el Ing. José Pérez, por haberme guiado en cada paso del camino, por siempre estar presente ante cualquier eventualidad y por su capacidad de brindar soluciones a los problemas.

A mis profesores, por transmitirme sus enseñanzas y experiencias de esta carrera tan hermosa como lo es la ingeniería, especialmente al profesor Wilmer Sáenz por ayudarnos sin tener el deber explícito de hacerlo y al profesor Gerson Sánchez.

A mis padres que tanto me han orientado y consolado durante esta travesía, siendo mi lugar de descanso en los momentos difíciles, mi voz de aliento para seguir esforzándome y mi recordatorio de que todo es posible con cariño y dedicación.

A mi abuelo quién siempre ha sido mi compañero para hablar sobre proyectos de electrónica, proporcionándome su punto de vista desde su experiencia. A mi familia, pareja y compañeros de carrera por volver las situaciones difíciles un poco más llevaderas.

Todas estas personas han sido mi pilar para llegar a donde estoy ahora, pido a Dios bendiciones para todos ellos.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	10
1.3 Objetivos de la Investigación.....	10
1.3.1 Objetivo General.....	10
1.3.2 Objetivos Específicos.....	10
1.4 Justificación.....	10
1.5 Alcance.....	12
1.6 Limitaciones.....	12
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	13
2.2 Bases Teóricas.....	16
2.2.1. Gases emanados en procesos industriales.....	16
2.2.2. Industrias que involucran GN y CO ₂	18
2.2.2.1 Industria petrolera.....	18
2.2.2.2 Industria eléctrica.....	20
2.2.3. Microcontroladores.....	21
2.2.3.1 Arduino UNO.....	21
2.2.4. Teoría de adquisición de datos.....	22
2.2.4.1 Sensores y transductores.....	22

2.2.4.2 Acondicionamiento de la señal.....	24
2.2.4.3 Hardware – software para la adquisición de datos.....	25
2.2.5 Transmisión de datos.....	26
2.2.5.1 Transmisión de datos vía puerto USB.....	26
2.2.5.2 Transmisión de datos inalámbrica.....	26
2.2.6 Interfaz gráfica.....	29
2.3 Bases Legales.....	30
2.3.1. Convenciones y Estrategias Internacionales.....	30
2.3.1.1 Convención Marco sobre Cambio Climático.....	30
2.3.1.2 Protocolo de Kioto.....	30
2.3.1.3 Acuerdo de París.....	30
2.3.2. Marco Jurídico Nacional.....	31
2.3.2.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999).....	31
2.3.2.2 Ley Orgánica del Ambiente.....	31
2.3.3. Normas de regulación de GEI.....	32
2.3.3.1 Norma venezolana gas natural COVENIN 3568-1:2000.....	32
2.3.3.2 Norma venezolana concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición COVENIN 2253:2001.....	32
2.3.3.3 ISO 14064-1 Sistema de gestión Huella de Carbono.....	33
2.4 Definición de Términos.....	33
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	34
3.2 Diseño de la Investigación.....	35

3.3 Nivel de la investigación.....	35
3.4. Población y muestra.....	36
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.5.1. Técnica.....	36
3.5.2. Instrumento.....	37
3.6 Técnica de análisis de resultados.....	38
3.7. Fases metodológicas.....	38
3.8 Cuadro de operacionalización de variables.....	41
IV RESULTADOS	
4.1 FASE I.....	42
4.2 FASE II.....	51
4.3 FASE III.....	54
4.4 FASE IV.....	69
4.5 FASE V.....	101
4.6 FASE VI.....	108
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIAS.....	114
ANEXOS.....	119
Anexo A. Hoja de datos del sensor MQ-5.....	120
Anexo B. Hoja de datos del sensor MQ-135.....	122
Anexo C. Hoja de datos del sensor DHT11.....	124
APÉNDICES.....	127
Apéndice A. Guión de Entrevista.....	128
Apéndice B. Validación del instrumento.....	129
Apéndice C. Lista de cotejo.....	138
Apéndice D. Entrevista CVG ALUCASA.....	139

Apéndice E. Explosímetro utilizado en CVG ALUCASA.....	141
Apéndice F. Entrevista Alice Neumáticos de Venezuela C.A.....	142
Apéndice G. Entrevista Planta de Autobuses Yutong de Venezuela.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

DESCRIPCIÓN

TABLA		pp.
1	Gases GEI emanados por distintos procesos industriales.....	17
2	Concentraciones ambientales permisibles según norma COVENIN 2253:2001.....	32
3	Cuadro técnico-metodológico.....	41
4	Gases GEI emanados por distintas industrias.....	43
5	Concentraciones de CO ₂ y sus efectos sobre la salud.....	52
6	Matriz FODA asociada al Arduino UNO.....	54
7	Matriz FODA asociada al sensor MQ-5.....	57
8	Matriz FODA asociada al sensor MQ-135.....	59
9	Matriz FODA asociada al sensor DHT11.....	61
10	Diferencias entre los buzzers activos y los pasivos.....	66
11	Resumen de los componentes de la tarjeta de adquisición de datos.....	67
12	Coordenadas de la curva de GN del sensor MQ-5.....	75
13	Coordenadas de la curva de CO ₂ del sensor MQ-135.....	76
14	Coordenadas de las curvas de influencia de humedad y temperatura del sensor MQ-5.....	82
15	Coordenadas de las curvas de influencia de humedad y temperatura del sensor MQ-135.....	84
16	Alarmas de la tarjeta de adquisición de datos de acuerdo a la concentración de los gases.....	89
17	Lista de cotejo para verificar funcionamiento.....	100

18	Presupuesto de los recursos utilizados para la tarjeta de adquisición de datos.....	108
19	Comparación de las características de distintos dispositivos de medición de gas.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Fuga de gases en la refinería El Palito.....	8
2	Incendio en la refinería El Palito.....	9
3	Distribución de las emisiones de CO ₂ de la industria petrolera (1999).....	19
4	Factores de emisión de GEI para los combustibles.....	20
5	Partes de un sistema DAQ.....	22
6	Características de sensibilidad del MQ-5.....	23
7	Características de sensibilidad del MQ-135.....	24
8	Onda senoidal adquirida con un conversor A/D de 3 bits y otro de 16 bits de resolución.....	25
9	Capas de la comunicación USB.....	26
10	Clasificación de las redes inalámbricas.....	27
11	Red dispersa Bluetooth formada de dos picoredes. El maestro de la picored A es un esclavo en la picored B.....	28
12	Bloques funcionales de un SoC ESP32.....	29
13	Niveles de combustión del gas natural.....	52
14	Placa de desarrollo Arduino UNO a utilizar en la tarjeta.....	56
15	Sensor MQ-5 a utilizar en la tarjeta para medir GN.....	58
16	Esquema de conexión sensor MQ-5 al Arduino.....	59
17	Sensor MQ-135 a utilizar en la tarjeta para medir CO ₂	61
18	Sensor DHT11 a utilizar en la tarjeta.....	62

19	Montaje del sensor DHT11 con el microcontrolador.....	63
20	Esquema de montaje del sensor DHT11 al Arduino.....	64
21	Esquema de conexión LCD I2C al Arduino.....	65
22	Esquema de montaje de los LED's al Arduino.....	66
23	Esquema de conexión del buzzer pasivo al Arduino.....	67
24	Diagrama de flujo del funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos.....	70
25	Circuito de medida de parámetros eléctricos del MQ-5 y MQ-135.....	71
26	Esquema interno del módulo sensor MQ-5 y MQ-135.....	71
27	Circuito de precalentamiento de los sensores MQ.....	73
28	Definición de los ejes de la gráfica de sensibilidad.....	74
29	Selección de puntos de la curva de sensibilidad del gas.....	74
30	Descarga de los puntos de los puntos de la curva de sensibilidad del gas..	75
31	Código del cálculo de la resistencia R_o	79
32	Cálculo de la relación R_s/R_o del aire con el valor calculado de R_o	80
33	Lectura de los sensores MQ.....	80
34	Código de configuración del sensor DHT11.....	81
35	Código para el cálculo del factor de corrección de humedad y temperatura.....	86
36	Código para el cálculo de la resistencia corregida por humedad y temperatura.....	86
37	Código para el cálculo de las lecturas de los sensores en ppm.....	88
38	Código para la impresión de los valores en el LCD.....	89
39	Código para la emisión de alarmas por el LCD.....	91
40	Código para la emisión de alarmas por LED.....	91
41	Código para la emisión de alarmas por buzzer.....	92
42	Esquema de conexiones de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus..	93
43	Vista superior de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.....	95
44	Vista frontal de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.....	96
45	Vista lateral izquierda de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus....	96
46	Vista lateral derecha de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.....	97

47	Vista trasera de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.....	97
48	Tarjeta de adquisición de datos en físico.....	98
49	Encendido de la tarjeta de adquisición de datos.....	98
50	Pantalla de concentraciones de la tarjeta de adquisición de datos.....	99
51	Pantalla de humedad y temperatura de la tarjeta de adquisición de datos..	99
52	Frame de inicio de sesión de la GUI.....	102
53	Mensaje de error con usuario o contraseña incorrecta.....	102
54	Función de inicio de sesión de la GUI.....	103
55	Frame de visualización de concentraciones en tiempo real.....	104
56	Función para iniciar la conexión serial.....	105
57	Función para pausar la comunicación serial.....	105
58	Función para leer los valores del puerto serie.....	105
59	Función para actualizar los valores de la gráfica.....	106
60	Función para la generación de alarmas.....	107
61	Advertencia de concentración de gas sospechosa.....	107
62	Advertencia concentración de gas potencialmente peligrosa.....	107

ÍNDICE DE GRÁFICOS

DESCRIPCIÓN

GRÁFICO		pp.
1	Curva de sensibilidad del MQ-5 para el GN.....	76
2	Curva de sensibilidad del MQ-135 para el CO ₂	77
3	Curvas de influencia de humedad y temperatura del sensor MQ-5.....	83
4	Curvas de influencia de humedad y temperatura del sensor MQ-135.....	85



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

DESARROLLO DE UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS CON TECNOLOGÍA ARDUINO PARA MEDICIÓN DE GASES EMANADOS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

Autor (a): María Valentina Reyes

Tutor: Ing. José Pérez Colón

Fecha: junio 2023

RESUMEN

La investigación consiste en el desarrollo de una Tarjeta de Adquisición de Datos (TAD) con tecnología Arduino capaz de medir gases emanados en procesos industriales, para realizar detecciones tempranas de fugas de gas natural (GN) y dióxido de carbono (CO₂) causantes de asfixia, incendios, explosiones, entre otros; y reducir emisiones de GEI. Metodología: proyecto factible, diseño de campo, nivel descriptivo, se utilizó una entrevista para determinar la metodología de prevención de fugas de algunas empresas y lista de cotejo para registrar el comportamiento de la TAD posterior a su diseño; y confirmar el registro mediante una interfaz gráfica. Incorporando dicho diseño en la línea de investigación de Ciencias Cognitivas y Aplicadas. Resultados: Las industrias con emisiones de CO₂ y GN, son la petrolera, gasífera, carbonífera y eléctrica. Se establecieron niveles de emisión permitidos; rango explosivo para GN, entre 50.000 y 150.000 ppm, y para CO₂, no mayor a 5.000 ppm. Para la medición y generación de alarmas se utilizó: el sensor MQ-5, MQ-135 y DHT11; se utilizó pantalla LCD para visualizar valores, para las alarmas visuales se utilizaron tres Led's, y pantalla LCD, y buzzer pasivo como alarma sonora. Etapas del diseño: calibración y lectura de los sensores, correcciones de humedad y temperatura, conversión a concentración en ppm, visualización de valores, generación de alarmas y diseño físico de la TAD. Interfaz gráfica programada con sistema de Log-In, muestra de niveles de gases emitidos por puerto USB y alarma al operador en caso de anomalías de concentraciones utilizando Python. Conclusión: la elección del dispositivo adecuado de medición de gases para una aplicación específica, dependerá de las necesidades del usuario, de las características, el presupuesto deseado, la precisión y velocidad de la medición y la presencia de alarmas.

Descriptor: programación, microprocesador, gas, medición, industria.

INTRODUCCIÓN

El rastro de gases de efecto invernadero (GEI) que dejan las actividades humanas se conoce como huella de carbono. Este indicador ambiental mide tanto las emisiones directas como indirectas de compuestos como el metano, el óxido de nitrógeno, los hidrofluorocarburos, sobre todo, del más abundante y que más ha contribuido al calentamiento global desde 1990: el dióxido de carbono (CO₂).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) apunta que la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanzó un nuevo récord en 2019 y que los niveles actuales de CO₂ atmosférico son equiparables a los de hace más de tres millones de años, cuando el termómetro terrestre marcaba unos 3 °C más y el nivel del mar medía entre 10 y 20 metros más que hoy. Hasta ahora, la huella de carbono no ha parado de crecer, se ha multiplicado por 11 desde 1961 y ya supone el 60 % del impacto total del hombre en el medio ambiente, según estima la *Global Footprint Network*.

La aplicación de este indicador en un ámbito corporativo es notablemente atractiva para empresas y organizaciones, sobre todo si se considera de difusión y relevancia del cambio climático y el incremento de la demanda de información medioambiental por parte de industriales, las cuales enfrentan un reto de mantenimiento de aire libre de contaminantes para la prevención de accidentes laborales y aporte a los convenios adscritos para la disminución de la huella de carbono.

Tomando en cuenta la prioridad ambiental de las industrias frente al cambio climático, se busca, por medio de las líneas de investigación de ciencias cognitivas y aplicadas a través de un proyecto factible basado en la elaboración de una tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino, para medir ciertos gases GEI como CO₂ y gas natural y de esta manera, contribuir en el impacto ambiental. Lo que supone un beneficio para todas aquellas industrias que utilicen este tipo de gases como parte de sus procesos, reduciendo las probabilidades de tener un accidente por algunas de estas razones, evitando daños estructurales, personales, ambientales y financieros.

En el Capítulo I, se describe y sustenta la formulación del problema, así como objetivos, variables, hipótesis y justificación de la investigación.

Asimismo, en el Capítulo II, se describen las bases teóricas donde se presentan los resultados de la búsqueda de información relevante como antecedentes, tesis, artículos científicos, y otras publicaciones relacionadas con la investigación, también se incluye un marco conceptual e información relevante sobre los sensores y componentes utilizados en el desarrollo del sistema. Por otro lado, en el Capítulo III, se detalla la metodología utilizada en la investigación, presentando una investigación de tipo proyecto factible, con un diseño no experimental y un nivel descriptivo. Adicionalmente, en este capítulo se detallan las fases de la investigación que permitieron el desarrollo de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino para la medición de gases en los procesos industriales.

Posteriormente, en el Capítulo IV se presentan los resultados correspondientes a cada una de las fases planteadas en el Capítulo III, que permiten en conjunto el cumplimiento del objetivo general de la investigación. En este capítulo se tratan temas desde los niveles de emisión de GN y CO₂ seguros para el ser humano hasta el diseño tanto de la tarjeta de adquisición de datos como de la interfaz gráfica. Por último, se tienen las conclusiones correspondientes a los resultados adquiridos en las fases y las recomendaciones tanto para la mejora del presente trabajo de investigación como para posteriores investigaciones en este ámbito.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como: "cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". El cambio climático acontecido durante las últimas décadas ha derivado en un calentamiento global, término referido generalmente al aumento gradual de las temperaturas en el planeta. Ello es resultado de la acumulación de gases atrapados en la atmósfera, lo que se denomina efecto invernadero. Estos gases de efecto invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) que es el principal componente del gas natural (GN), absorben la radiación que emite la Tierra y atrapan el calor, impidiendo que la energía se traslade al espacio. Los GEI permanecen en la atmósfera durante mucho tiempo, por lo que se prevé que el cambio climático seguirá afectando a los sistemas naturales del planeta durante varios siglos, aun cuando las emisiones de dichos gases se redujeran considerablemente en el futuro próximo.

Asimismo, de acuerdo a Sánchez (2019), en su artículo "El impacto medioambiental del dióxido de carbono", este sobrecalentamiento global tiene consecuencias en el clima mundial y en la vida en todo el planeta. Si bien se sabe que el clima en nuestro planeta es dinámico, en el último siglo el ritmo de estas variaciones climáticas se ha acelerado, dando lugar a un cambio climático a nivel mundial. Una de las causas de este cambio es una excesiva concentración de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, la temperatura media global ha aumentado en 0,6 °C durante el siglo XX y se cree que el aumento será de entre 1 y 5 °C en el siglo XXI o aumenta la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos más extremos.

Por otro lado, muchas empresas del sector industrial emplean Gas Natural, por sus siglas GN, como fuente de combustible para generar calor en sus procesos a través de calderas, procesos de fundición, extracción, entre otros. Estas empresas suelen ocupar diversas áreas productivas como lo son: la industria petrolera, siderúrgica, de cemento, procesamiento de plástico, caucho,

entre otras. Al manipular el GN existe el riesgo de que se presenten fallas en las vías o tuberías de distribución, ocurriendo en determinados casos derrames y/o fugas del mismo que a veces son difíciles de detectar por el personal que pudiera estar laborando en las cercanías. En consecuencia, se conocen casos de asfixia del personal, incendios o explosiones en este tipo de plantas. Asimismo, la fuga de este tipo de gas y, en algunos casos, su posterior combustión genera emisiones de efecto invernadero como lo es dióxido de carbono, por sus siglas CO₂, el cual, si bien es vital para el proceso de desarrollo de las plantas, sus emisiones en exceso son dañinas para el ambiente y pueden causar la muerte.

Un ejemplo de este tipo de accidentes es la explosión del 31 de enero de 2013 de un ducto en la central de medición de gas Pemex, México, de la cual resultaron 33 personas fallecidas y 128 heridas. Esta explosión se dio por acumulación de gas metano y varios solventes y sedimentos de hidrocarburos. El inicio del accidente se debió a la ruptura de una tubería de 20 centímetros de diámetro que transportaba Gas Licuado de Petróleo GLP, desde las refinerías hasta la planta de almacenamiento cerca de uno de los parques de tanques. Como consecuencia de esto hubo una destrucción total de las instalaciones, debido a los fallos ocurridos, así como destrucciones completas de viviendas aledañas a la planta de almacenamiento.

De esta manera, además de las emisiones de dióxido de carbono CO₂ por los posibles accidentes que se puedan presentar en la empresa, cabe destacar que muchos procesos industriales emiten dióxido de carbono a través del consumo de combustibles fósiles. Además, de acuerdo a la agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) la combustión de combustibles fósiles de diversos procesos industriales representó aproximadamente el 15,4% del total de emisiones de dióxido de carbono en Estados Unidos y el 12,5% del total de emisiones de gases de efecto invernadero en este país en el año 2017. Asimismo, en muchos procesos industriales también se utiliza electricidad y, en consecuencia, causan indirectamente las emisiones propias de la producción de electricidad.

En cuanto a Venezuela, según datos de la oficina de publicaciones de la Unión Europea, se observa un incremento en las emisiones de dióxido de carbono. En 2021, las emisiones de dióxido de carbono han crecido 4,515 megatoneladas, un 4,51% respecto a 2020, teniendo una cantidad de emisiones en el 2021 de 104,672 megatoneladas, de esta manera, Venezuela queda como el país número 146 del ranking de países por emisiones de dióxido de carbono. Cabe destacar que dicho ranking está formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más

contaminantes. Además de las emisiones totales de dióxido de carbono a la atmósfera, que lógicamente dependen entre otras variables de la población del país, es conveniente analizar el comportamiento de sus emisiones por habitante, observando que las emisiones per cápita de dióxido de carbono en Venezuela en 2021, han aumentado a 3,12 toneladas por habitante.

Asimismo, cabe recalcar que, de acuerdo a Morón, Rebolledo, Rodríguez y Sánchez (2018) en su reporte de mitigación al cambio climático en Venezuela afirman que, hasta el momento de preparar el documento, sólo se contaba, para el país, con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero del año 1999. Después del inventario de 1999, la información de emisiones gases de efecto invernadero (GEI) a nivel nacional, se ha limitado a estudios e investigaciones llevados a cabo por universidades, centros de investigación, y algunas dependencias de PDVSA, que contienen registros puntuales sobre nivel de emisiones en algunos sectores, como el sector de la construcción y agroforestal. Adicionalmente, el Estado venezolano no ha implementado el Plan Nacional de Mitigación, aun cuando está incluido en el documento Contribuciones Previstas Determinadas a Nivel Nacional (INDC por sus siglas en inglés), presentadas por Venezuela a finales del 2015, durante la celebración de la COP21 en París, a partir de cuya implementación, el país estima una reducción en un 20% de emisiones de GEI para el 2030.

Entre las iniciativas gubernamentales conocidas, pero sin datos que permitan medir su pertinencia y eficiencia, el estado venezolano ha implementado acciones aisladas, como: el canal para Vehículos de Alta Ocupación o VAO en algunas ciudades del país; la construcción del sistema ferroviario nacional; el programa de bombillos ahorradores y la Misión Árbol; como medidas indirectas adoptadas para reducir el nivel de emisiones en el país.

De igual forma, en el reporte de mitigación al cambio climático se afirma que, las emisiones de CO₂ de la industria petrolera en general (Venezuela y el mundo), provienen principalmente de la combustión de hidrocarburos en los hornos, calderas, compresores, generadores y motobombas de las instalaciones industriales. Asimismo, la industria petrolera emite metano (CH₄) cuando se arroja a la atmósfera parte del gas natural que se produce simultáneamente con el petróleo (venteo), y también por fugas de gas natural que ocurren en los compresores y gasoductos. No todo el gas que se desecha es arrojado a la atmósfera: aproximadamente 3.200 millones de m³ /año se queman en mechurrios, que representan emisiones de CO₂ en el orden de 7,6 millones de t/año (PDVSA, 2015).

Se puede observar en la distribución de las emisiones de CO₂, repartidas según las actividades de la industria petrolera nacional para el año 1999, que la mayor parte de estas emisiones tenía lugar en las operaciones de producción de crudo y de refinación (MPPPM, 2014). Si bien la producción petrolera se ha contraído cerca del 9% desde el 2011 al 2015 (PDVSA, 2015), esta sigue siendo muy significativa en términos de consumo de hidrocarburos; adicionalmente, la actividad ha aumentado para compensar la declinación de la producción petrolera en campos tradicionales (PDVSA, 2015). Por otra parte, el elevado consumo de hidrógeno fabricado a partir de la reformación de gas natural asociado principalmente a plantas mejoradoras de crudos extra-pesados, según refiere la US Energy Information Administration (US-EIA) para Venezuela en el año 2015 (US-EIA, 2015), supone la adición de más emisiones CO₂.

Asimismo, habría que contabilizar las emisiones adicionales de las nuevas instalaciones construidas en la Faja del Orinoco y en los campos tradicionales otorgados a socios de PDVSA para su operación. En cuanto a los procesos de refinación, aunque estos operan a menor capacidad, también siguen representando una emisión importante de gases de invernadero, por cuanto la reducción que ha ocurrido de la manufactura de componentes de productos de hidrocarburos, debido a los accidentes y fallas operativas en varias instalaciones, se ha compensado con la importación de tales componentes (US-EIA, 2015). En efecto, el consumo de hidrocarburos líquidos por las actividades petroleras, se duplicó entre 2003 y 2012.

A escala global, incluyendo a Venezuela, las oportunidades de reducción de emisiones de CO₂ ocasionadas por el consumo de combustibles líquidos y gas natural, en las actividades de extracción y separación de petróleo, están en el mejoramiento de la eficiencia energética de equipos, tales como las calderas industriales, calentadores, compresores, motobombas y otros; en el cambio del tipo de combustibles utilizado; y en el desarrollo de proyectos de captura y almacenamiento geológico del CO₂. Las oportunidades de reducción de emisiones de CH₄ están en la prevención de fugas y venteos de gas natural.

En cuanto al gas natural, este contiene entre 80 y 97% de metano, por tanto, sus fugas y venteos a la atmósfera, en actividades de la industria de los hidrocarburos, representan una fuente importante de emisión de GEI. En Venezuela, en la distribución de las actividades petroleras que emiten gas natural, se puede observar que prácticamente, la totalidad de las emisiones se producen en los campos de producción petrolera, debido a la práctica de arrojar el gas a la atmósfera y por las fugas que se producen en los compresores, tanques de almacenamiento de crudo y otros

equipos. De acuerdo al reporte se indica que el 76,01% de las emisiones de metano de la industria petrolera, para el año 2000, se producía por los venteos de gas.

De igual forma, la mayor parte de las grandes reservas de gas de Venezuela están asociadas a los yacimientos petroleros y, en consecuencia, su producción está ligada a la producción de crudo (PDVSA, 2015). En el país, gran parte del gas se extrae junto con el petróleo, ya que este está conformado por una mezcla de crudo, agua y gas. La mezcla es llevada por tubería hasta las estaciones de flujo, donde se realizan las operaciones de separación y distribución del gas, una buena parte del gas producido se reinyecta en el yacimiento para mantener su presión y para conservar el gas; otra se destina al consumo; y el gas pobre o de baja presión, se arroja a la atmósfera en las estaciones donde no se dispone de capacidad de compresión, recolección y transporte del gas.

Por otra parte, se han reportado incendios y explosiones en las instalaciones de Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), durante estos accidentes trabajadores resultaron heridos y se emanaron gases tóxicos. El Observatorio de Ecología Política de Venezuela (OEP) contabilizó 8 explosiones/incendios en el año 2021, siendo Anzoátegui y Monagas las entidades con mayor número reportado de siniestros. Es importante destacar que la mencionada organización señaló al cierre de diciembre de 2021 que se habían producido 30 siniestros producto de la falta de mantenimientos de la industria petrolera venezolana PDVSA. Todo esto sin mencionar la existencia de miles de fosas petroleras sin sanear, provenientes de una gran deuda ambiental histórica, los impactos de los mechorrios (parte que expulsa y quema los gases producto de los procesos de refinación en la industria petrolera), que realmente han dejado de quemar gas en su mayoría, entre otros.

Cabe destacar que, al igual que se producen emisiones de CO₂ provenientes de las industrias petroleras, también se tienen las emisiones de CO₂ de las plantas térmicas de generación de electricidad y calor, las cuales provienen de la combustión del gas natural, gasoil y fuel oil. Las oportunidades de reducción de emisiones en estas instalaciones, derivan del cambio de combustible o sustitución del gasoil y fueloil por gas, de la incorporación de tecnologías que permitan un aprovechamiento más eficiente de la energía, o de la sustitución de la generación termoeléctrica por el aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables. Para Venezuela, CORPOELEC reportó entre 2013 y 2015, (MPPEE, 2015) la conversión a gas de 1390 MW, en

las plantas India Urquía (Santa Lucía estado Miranda), Termocarabobo (estado Carabobo), Juan Bautista Arismendi y Luisa Cáceres de Arismendi (ambas en el estado Nueva Esparta).

Por otro lado, en cuanto a la región carabobeña con las industrias petroleras, en la conocida refinería de “El Palito” se han presentado innumerables accidentes y siniestros a lo largo de los últimos años, muchos de ellos provocados por la sobreexplotación de los sistemas de la planta después tantos años de inactividad. Entre estos accidentes se puede destacar que, de acuerdo al diario “Primera Edición Col”, el 14 de agosto de 2020 se registró una nueva fuga en la refinería El Palito, Carabobo, esta vez en el catalizador de la planta de fraccionamiento de craqueo catalítico (FCC), provocando el cierre de la autopista Puerto Cabello – Morón como se puede observar en la Figura 1. El director ejecutivo de la Federación Unitaria de Trabajadores Petroleros de Venezuela (FUTPV), explicó que no hubo un incendio sino una fuga de catalizadores y gas que se produjo luego de un intento por parte de la gerencia de la refinería de aumentar la producción de nafta catalítica y, a su vez, aumentar la capacidad de procesamiento de la planta FCC.

FUGA DE GASES EN REFINERÍA EL PALITO OCASIONÓ CIERRE DE AUTOPISTA PUERTO CABELLO-MORÓN

Publicado el [15/08/2020](#) | por [miriamzambrano](#)



Figura 1. Fuga de gases en la refinería El Palito.

Fuente: Diario Primera Edición Col (2020).

Asimismo, de acuerdo a este mismo diario, el 13 de noviembre de 2021, un incendio nuevamente alarmó a los trabajadores en la refinería de El Palito, Carabobo (Ver Figura 2). El incendio fue en el área de la laguna de oxidación de la refinería, lo cual alarmó a los habitantes del sector. Sin embargo, no se conoce la causa del incendio. Con todos estos incidentes se puede evidenciar la constante emisión de agentes contaminantes a la atmósfera, observando la necesidad

de establecer algún sistema para controlar y regular aquellos factores que pudieran propiciar este tipo de acontecimientos tales como las fugas en diversos tipos de gases, entre ellos el GN.

OTRO INCENDIO EN REFINERÍA DE «EL PALITO»

Publicado el 13/11/2021 | por [primeraedicioncol](#)



Figura 2. Incendio en la refinería El Palito.

Fuente: Diario Primera Edición Col (2020).

Por otro lado, debido a todos estos siniestros y la operación regular de las industrias que emanan estos gases, los trabajadores de estas empresas están expuestos por largos períodos de tiempo a los mismo. Según el diario *The Dallas Morning News* (2019), en su artículo “CO₂: Los peligros que representa la concentración de dióxido de carbono”, la concentración de este gas en interiores puede contribuir a reducir las habilidades cognitivas y causar enfermedades, alerta estudio. El incremento de este gas de efecto invernadero en la atmósfera no sólo contribuye a aumentar la temperatura del planeta, sino que es un riesgo para la salud humana debido a la exposición prolongada a este componente y al mayor tiempo que las personas pasan en interiores.

Asimismo, según un estudio publicado en la revista "*Nature Sustainability*", los trabajadores expuestos a una concentración de mil cuatrocientas partes por millón (ppm) durante una jornada laboral de ocho horas obtuvieron resultados cognitivos 50 por ciento menos favorables que aquellos expuestos a 550 ppm. Además, los científicos determinaron que los potenciales daños a la salud empiezan a presentarse a partir de mil ppm, una cifra que puede alcanzarse en interiores con ventilación reducida y alta ocupación, señala la investigación.

En tal sentido, la norma ISO 45001 es la norma internacional para la gestión de la seguridad y Salud en el trabajo (SG-SST). Se trata de una herramienta útil para ayudar a las organizaciones y empresas en la gestión de los riesgos y oportunidades en la prevención de las lesiones y los

problemas de salud en el trabajo, y su objetivo es mejorar el sistema de gestión para proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable.

Es por esto que se ve la oportunidad del diseño de la tarjeta de adquisición de datos para monitorear los niveles de dióxido de carbono y/o gas natural de acuerdo al proceso industrial mediante sus respectivas mediciones y cálculo con tecnología Arduino. De manera que se puedan prevenir explosiones, asfixias del personal o incendios con la detección temprana de los mismos. Igualmente, así se podrán cumplir con los estándares de emisión de gases impuestos por los organismos regulatorios de las emanaciones.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo se puede realizar una detección temprana de gases como el GN y CO₂ en los procesos industriales para prevenir accidentes y reducir el impacto sobre el ambiente?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino para medición de gases emanados en los procesos industriales.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación.
- Establecer los niveles de emisión de dióxido de carbono CO₂ y gas natural GN permitidos por los organismos regulatorios de emanación de estos gases para la disminución del impacto ambiental.
- Determinar los componentes de la tarjeta de adquisición de datos para la medición y generación de alarmas en los niveles de dióxido de carbono CO₂ y gas natural GN.
- Diseñar la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino con estilo fijo.
- Desarrollar una interfaz gráfica que muestre los niveles de gases emitidos y alarme al operador en caso de anomalías de estos valores haciendo uso del lenguaje de programación Python.
- Evaluar el costo de la implementación del sistema prototipo.

1.4 Justificación de la Investigación

El propósito del diseño de la tarjeta de adquisición de datos en el ámbito social viene dado por la necesidad de prevenir de manera temprana accidentes en las industrias de diversos sectores

originados por fugas de gases utilizados en los procesos como lo es el GN y el CO₂. Dado que este tipo de accidentes no solo perjudican a la empresa en cuestión y a su personal, sino también a todas aquellas zonas urbanas que sean vecinas a estas industrias; provocando un deterioro en la calidad de vida de las mismas, así como del entorno ambiental.

Por otra parte, se busca la mejora del ámbito laboral con respecto a la calidad del aire que perciben los empleados de este tipo de industrias; ya que, la exposición por largos períodos de tiempos a estos gases puede generar efectos negativos en la salud de las personas tales como una reducción de las habilidades cognitivas y enfermedades como infecciones respiratorias. En algunos casos, debido a la naturaleza del gas es necesario sólo un corto período de tiempo para que el individuo presente estos efectos. En tal sentido, la norma ISO 45001 es la norma internacional para la gestión de la seguridad y Salud en el trabajo (SG-SST). Se trata de una herramienta útil para ayudar a las organizaciones y empresas en la gestión de los riesgos y oportunidades en la prevención de las lesiones y los problemas de salud en el trabajo, y su objetivo es mejorar el sistema de gestión para proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable.

Con respecto al aspecto ambiental, se busca con este proyecto de investigación la disminución de gases de efecto invernadero a la atmósfera, sabiendo que la emisión de estos gases, como el GN y el CO₂, son parte de los responsables del efecto invernadero. Este efecto es el fenómeno por el cual el calor emitido por el sol es retenido dentro de la atmósfera. Algunos gases, como el CO₂, incrementan demasiado la retención de calor en la atmósfera y como consecuencia dan lugar a un sobrecalentamiento global. Cabe destacar que se busca reducir los niveles de emisión de dióxido de carbono producidos tanto por la combustión del gas en el proceso industrial como el emitido por los accidentes anteriormente mencionados; de manera que estas emisiones cumplan con lo estipulado en la norma ISO 14064 de gestión ambiental, entre otras.

Por otro lado, la presente investigación busca implementar mejoras en el ámbito tecnológico, implementando tecnologías que además de buscar algún tipo de innovación en cuanto a la eficiencia de los procesos y la prevención de accidentes para evitar daños industriales y de personal, sean capaces de controlar ciertas variables que contribuyen a una notable contaminación ambiental.

En cuanto al aspecto económico, la investigación pretende, posterior a su diseño, demostrar el funcionamiento de una tarjeta de adquisición con tecnología Arduino que, al ser esta última parte de la gama de placas de desarrollo del tipo comercial, se diferencia de muchas de las tarjetas

de adquisición de datos en la industria ya que estas gamas representan una alternativa más económica a estas otras tecnologías. De esta manera, se podrán comparar los resultados de ambos artefactos pudiendo obtener una relación calidad-precio de la tarjeta.

Por último, en relación al ámbito académico, se espera que los próximos investigadores de esta rama puedan utilizar el presente trabajo de investigación como soporte para seguir mejorando los procesos industriales desde el punto de vista de seguridad y ambiental. De esta manera, el desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino para medición de gases emanados en los procesos industriales, supone un beneficio para todas aquellas industrias que utilicen este tipo de gases como parte de sus procesos, reduciendo las probabilidades de tener un accidente por algunas de estas razones, evitando daños estructurales, personales, ambientales y financieros. Por lo tanto, al disminuir la cantidad de eventos de esta índole las zonas urbanas cercanas a las industrias tendrán mayor seguridad.

1.5 Alcance

El diseño de la tarjeta de adquisición de datos está planeado con modalidad fija. Requiere que su instalación sea en el área de trabajo, es decir, en el área en donde estén presentes los gases a utilizar para la realización de un determinado proceso. Asimismo, el dispositivo será capaz de conectarse mediante el puerto USB a un computador para la transmisión de datos de las mediciones realizadas, para poder imprimirlas en una interfaz gráfica. De igual forma, el dispositivo será capaz de enviar una señal de alarma por medio del microcontrolador al operador en el caso de una emanación excesiva de gases, en indicación de alguna anomalía en el correcto funcionamiento del sistema.

1.6 Limitaciones

La presente investigación se ve limitada a únicamente medir los gases CO₂ y GN y no todos aquellos que conforman la huella de carbono por limitaciones monetarias, ya que cada uno de los módulos de sensores a utilizar son sensibles a algunos gases y la medición de estos supone la adquisición de otros módulos. Cabe destacar que, este tipo de tecnologías no son muy comunes en el país, por lo que se presenta una dificultad en la búsqueda de los componentes. Por otro lado, las mediciones a realizar por el prototipo dependen de las respuestas dadas por las empresas planteadas en los recursos de la investigación, en caso de una respuesta negativa se procederá a buscar otras empresas para poder realizar dichas mediciones. Es por esto que, es posible que en algunos casos la investigación no posea acceso a toda la información necesaria para el estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Según Arias (2006, p. 106) “Los antecedentes reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones.”. Entre los antecedentes que sirven como base a la investigación se encuentran:

Freytes Miguel (2021), presentó el trabajo titulado **“Diseño de una tarjeta de adquisición de datos para control supervisorio y diagnóstico en procesos de múltiples lazos usando Java como interfaz gráfica”** para optar al título de ingeniero electrónico en la Universidad José Antonio Páez, Venezuela. La investigación de Freytes tenía como objetivo general diseñar una tarjeta de adquisición de datos para control supervisorio y diagnóstico en procesos de múltiples lazos usando Java como interfaz gráfica; presentando una investigación con diseño no experimental o de campo de tipo proyecto factible. Asimismo, establece como población a todos aquellos sistemas de adquisición de datos empleados en plantas de procesos de múltiples lazos. Además, plantea como instrumento de recolección de datos una lista de chequeo para recabar aquella información de relevancia para los objetivos planteados y una ficha de trabajo.

De esta manera, dicha investigación obtuvo como resultado principal la UIAD, la cual es una tarjeta de adquisición de datos que posee 8 canales de entrada analógicos que permiten el acondicionamiento y digitalización de hasta seis tipos diferentes de señales estandarizadas; adicionalmente, esta tarjeta tiene a disposición 8 canales de salida híbridos, es decir, que pueden ser utilizados tanto como salidas digitales como salidas analógicas lo que permite distintos tipos de control de procesos tales como el ON-OFF o el Proporcional, Integral y Derivativo (PID).

Por último, existen muchos aspectos que relacionan la investigación de Freytes con la del autor, entre ellos se puede encontrar la teoría de la adquisición de datos, desarrollando un diseño de una tarjeta que permita obtener diversos valores para distintas variables de control, en el caso de la presente investigación, esta se centra más en la obtención de las mediciones para el monitoreo del proceso industrial con fines de seguridad y ambiente. Asimismo, otro aspecto presente en ambas investigaciones, es la supervisión en los distintos procesos industriales.

Por otra parte, Cabarcas y Turizo (2020), **“Medición de la huella de carbono en la facultad de ingeniería utilizando una aplicación móvil integrada con tecnología IOT”**. Presentado para optar al título de ingeniero de sistemas para la Universidad del Sinú, Colombia. Dicha investigación tenía como principal objetivo medir la huella de carbono en la facultad de ingeniería a través de sensores, utilizando una aplicación móvil integrada con tecnología IOT; siendo una investigación de tipo descriptiva. En cuanto a la población de dicho estudio, el mismo no especifica debido a la naturaleza de la investigación; ya que, sólo busca la medición en un lugar específico que, en este caso, es en la facultad de ingeniería de la universidad del Sinú. Como instrumento de recolección de datos presentan principalmente los sensores utilizados (DHT11, ACS712 y ESP8266) con tecnología Arduino y una aplicación móvil con framework Flutter.

Por otro lado, la aplicación muestra de manera gráfica los resultados obtenidos al realizar el cálculo de la huella de carbono del consumo de papel y vasos de cartón, de manera que los datos sean más fáciles de interpretar para el usuario. Además, se observó que la huella de carbono general de todo el mes de marzo fue de 14.74 toneladas de CO₂e, valor similar al obtenido de manera manual en Excel, mostrando una tasa de error significativamente baja.

En cuanto a la relación que guarda la investigación de Cabarcas y Turizo con la presente, se puede observar que ambos trabajos presentan una propuesta para la medición y adquisición de datos de una variable determinada utilizando tecnología Arduino, en el caso de dicha investigación, la medición de la huella de carbono, mientras que en la presente se busca medir la concentración de dos gases específicos de los diversos gases que constituyen esta huella como lo son el CO₂ y el GN.

Seguidamente, se encuentra el trabajo de González, Pérez y Dunia (2017), titulado **“Diseño de un sistema de adquisición y procesamiento de datos con el uso de multisensores para laboratorios de física universitarios”** presentado como artículo científico de la revista INGENIERÍA UC, vol. 25 de la Universidad de Carabobo, Venezuela. En dicho artículo se presenta el diseño y construcción de manera satisfactoria de un sistema de adquisición y procesamiento de datos con el uso de multisensores para la realización de diez trabajos prácticos de laboratorio que abarcan los contenidos curriculares de la física básica a nivel universitario, experimentos que van desde los conocimientos de la cinemática en un plano inclinado hasta conocimientos sobre los cuerpo negros y la ley de Stephan–Boltzmann.

Cabe destacar que el sistema de adquisición de datos fue diseñado con un micro controlador PIC 16F870, y el empleo de este último implicó varias ventajas en el sistema, algunas de ellas siendo una rápida comunicación con la interfaz de usuario al emplear como canal de comunicación el puerto USB, su versatilidad al poder leer y procesar los datos por casi cualquier software de graficación sin requerir la programación interna del PIC y; por último, su adaptabilidad y facilidad de implementación para diversas maquetas de experimentación en los laboratorios de física universitaria.

Ahora bien, el artículo mencionado y el presente trabajo de investigación guardan relación en el uso de sensores para la adquisición de datos de una variable determinada en un proceso específico, en el caso del artículo con el fin académico de mejorar el proceso de enseñanza en los laboratorios de física, mientras que en la presente se busca un fin industrial de seguridad y ambiente; no obstante, el principio de la tarjeta es el mismo. Asimismo, se encuentra el uso de micro controladores que a diferencia del pensado para la presente investigación que, el cual es implementado con tecnología Arduino, el artículo utilizó uno de los micro controladores de la gama PIC 16.

De igual forma, Sánchez Leonardo (2017) presentó un trabajo de investigación titulado **“Diseño de un sistema de adquisición de datos y control de un banco de pruebas para reguladores de gas”**; para optar al título de ingeniero electricista en la Universidad Central de Venezuela, cuyo objetivo general era el de diseñar e implementar un sistema de adquisición y control para un banco de pruebas de reguladores de gas según la norma ANSI B109.4-1998. De esta manera, dicho trabajo de investigación constituyó un proyecto factible para la mejora del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) logrando la implementación de un sistema de adquisición y control para el banco de pruebas de reguladores de gas que se encuentra en las instalaciones de dicho instituto. Asimismo, el banco de pruebas diseñado por Sánchez permite verificar el desempeño de los reguladores de gas importados y de fabricación nacional, ajustándose al estándar definido por la empresa nacional PDVSA GAS (Norma ANSI B109.4).

Como se puede observar, la investigación realizada por Sánchez está relacionada con la presente debido a que se puede encontrar como base de su investigación a la teoría de la adquisición de datos siendo esta, uno de los aspectos fundamentales de la presente investigación; ya que, sin una correcta toma de datos del proceso la tarjeta no es capaz de funcionar correctamente, tomando medidas erróneas y, en consecuencia, acciones equivocadas ante una mala

medición de las variables. Con respecto a esto último, ambas investigaciones tienen una variable en común, como lo es el gas y las normas que envuelven el uso de este recurso.

Como último antecedente citado se tiene el trabajo de Borjas Oscar (2017), titulado **“Unidad maestra de recolección de datos para un sistema de inyección de preformas”** presentado para la Universidad Privada Dr. Rafael Beloso Chacín, Maracaibo, Venezuela, publicado en la revista “Télématique”. El objetivo principal de la investigación de Borjas fue proponer una unidad maestra de recolección de datos para el sistema de inyección de preformas en la empresa Zuliana del PET C.A. En cuanto al diseño del hardware y el software de la unidad maestra de recolección de datos, Borjas estableció la fabricación de un dispositivo terminal maestro basado en una placa Arduino nodeMCU teniendo comunicación modbus, conexión usb y wifi. Como resultado se validó el funcionamiento de la unidad maestra, colocándola en operación directamente sobre el proceso, donde se pudo confirmar aspectos como la comunicación entre las terminales remotas y la unidad maestra, la captura de los datos y el funcionamiento de los instrumentos de medición.

Finalmente, la teoría de adquisición de datos al igual que en todos los trabajos citados anteriormente es un elemento en común con la presente investigación, además dicha unidad maestra tiene un enfoque industrial al igual que la tarjeta propuesta por el autor. Por otro lado, el proyecto de Borjas implica el uso de una tarjeta Arduino nodeMCU como principal componente para el procesamiento de los datos, al igual que el presente que utiliza la placa de desarrollo Arduino UNO.

2.2 Bases teóricas

Arias (2006, p. 107) afirma que “Las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado.”. En este apartado se desglosarán todas aquellas teorías que son la base de la investigación, y necesarias para el diseño de la tarjeta de adquisición con tecnología Arduino.

2.2.1 Gases emanados en procesos industriales

De acuerdo al Ministerio de Ambiente de Perú, “Las emisiones de GEI del sector Procesos Industriales y Uso de Productos son generados por los procesos industriales, por el uso de gases de efecto invernadero en los productos y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles”. Asimismo, las principales fuentes de emisión son los procesos industriales

que transforman materiales por medios químicos o físicos (por ejemplo, los altos hornos de la industria del hierro y el acero, el amoníaco y otros productos químicos fabricados a partir de combustibles fósiles). Por otro lado, se encuentran los productos que utilizan GEI como refrigeradoras, espumas o latas de aerosol, y así en una serie de productos utilizados por la industria. A continuación, en la Tabla 1 se detallan aquellos procesos de los distintos tipo de industrias que emiten gases de efecto invernadero y cuáles de estos gases emanan.

Tabla 1. Gases GEI emanados por distintos procesos industriales.

Procesos	Descripción	Gases
Procesos Industriales y uso de productos	Emisiones de productos industriales y uso de productos, excluyendo los vinculados a la combustión de energía, extracción, procesamiento y transporte de combustibles y transporte.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Industria de los minerales	Producción de cemento, producción de vidrio, cerámicas, producción de magnesia no metalúrgica	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Industria química	Producción de amoníaco, producción de ácido nítrico, producción de ácido adípico, producción de caprolactama, glyoxal y ácido glyoxílico, producción de carburo, producción de dióxido de titanio, producción de ceniza de sosa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Producción petroquímica y de negro de humo	Metanol, Etileno, Dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo, Óxido de etileno, Acrilonitrilo, Negro de humo	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Industria de los metales	Producción de hierro y acero, producción de ferroaleaciones, producción de aluminio, producción de magnesio, producción de plomo, producción de zinc	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados, NO _x , CO, COVDM, SO ₂

Industria Electrónica	Circuito integrado o semiconductor, pantalla plana tipo TFT, productos fotovoltaicos, fluido de transporte y transferencia térmica, refrigeración y aire acondicionado	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, PFC, HFC, SF ₆ , otros gases halogenados
------------------------------	--	---

Fuente: Ministerio del Ambiente, Perú (s.f).

Elaborado por: Reyes (2022).

2.2.2 Industrias que involucran GN y CO₂

Como se puede observar por la tabla presentada anteriormente, existen diversos procesos que emplean y/o emanan estos dos gases contaminantes. Sin embargo, a continuación, se detallan los más influyentes en cuanto a emisiones de GN y CO₂ se refiere (En Venezuela), los cuales vienen siendo la industria petrolera y la eléctrica. Cabe recalcar que estos dos gases son los más frecuentes en las industrias mencionadas en la Tabla 1. En general, en Venezuela continúan siendo altos los niveles de emisiones GEI por parte de las industrias petrolera, gasífera, carbonífera y eléctrica, así como los sectores del transporte, construcción, forestal, agropecuario y del manejo de los desechos sólidos.

2.2.2.1 Industria petrolera

Según el reporte de mitigación al cambio climático (2018) las emisiones de CO₂ de la industria petrolera provienen principalmente de la combustión de hidrocarburos en los hornos, calderas, compresores, generadores y motobombas de las instalaciones industriales. Además, está presente en esta industria la emisión metano (CH₄), cuando se arroja a la atmósfera parte del gas natural que se produce simultáneamente con el petróleo, y por fugas de gas natural que ocurren en los compresores y gasoductos. Asimismo, no todo el gas que se desecha es arrojado a la atmósfera: aproximadamente 3.200 millones de m³ /año se queman en mechurrios, que representan emisiones de CO₂ en el orden de 7,6 millones de t/año (PDVSA, 2015). En la Figura 3 se puede observar la distribución de emisiones de CO₂ en las distintas actividades de la industria petrolera.

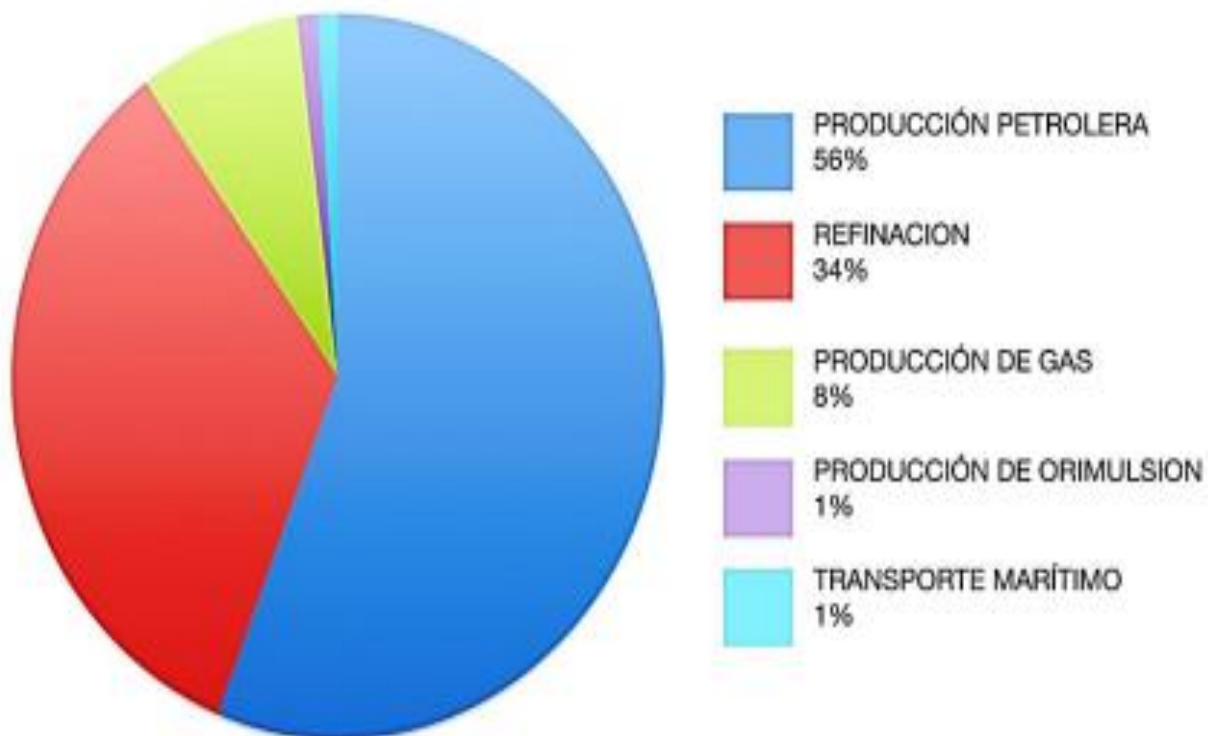


Figura 3. Distribución de las emisiones de CO₂ de la industria petrolera (1999).

Fuente: Reporte de Mitigación al Cambio Climático (2018).

De esta manera, el reporte afirma que las oportunidades de reducción de emisiones de CO₂ ocasionadas por el consumo de combustibles líquidos y gas natural, en las actividades de extracción y separación de petróleo, están en el mejoramiento de la eficiencia energética de equipos, tales como las calderas industriales, calentadores, compresores, motobombas y otros; y en el desarrollo de proyectos de captura y almacenamiento geológico del CO₂. Las oportunidades de reducción de emisiones de CH₄ están en la prevención de fugas y venteos de gas natural. En la Figura 4 se pueden visualizar los factores de emisión de GEI para los combustibles.

Combustible	Factor de emisión por defecto	CO ₂		Factor de emisión por defecto	CH ₄		Factor de emisión por defecto	N ₂ O		
		Inferior	Superior		Inferior	Superior		Inferior	Superior	
Petróleo crudo	73 300	71 000	75 500	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Orimulsión	r 77 000	69 300	85 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas natural licuado	r 64 200	58 300	70 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gasolina	Gasolina para motores	r 69 300	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la aviación	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la a reacción	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Queroseno para motor a reacción	r 71 500	69 700	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro queroseno	71 900	70 800	73 700	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Esquisto bituminoso	73 300	67 800	79 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Fuelóleo residual	77 400	75 500	78 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gases licuados de petróleo	63 100	61 600	65 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Etano	61 600	61 600	65 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Nafta	73 300	69 300	76 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Bitumen	80 700	73 000	89 900	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Lubricantes	73 300	71 900	72 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Coque de petróleo	r 97 500	82 900	115 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Alquitrán de hulla	n 80 700	68 200	95 300	n 1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Gases derivados	Gas de fábricas de gas	n 44 400	37 300	54 100	n 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de horno de coque	n 44 400	37 300	54 100	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de alto horno a reacción	n 260 000	219 000	308 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de horno de oxígeno para aceros	n 182 000	145 000	202 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
Gas natural	56 100	54 300	58 300	1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	

a Incluye el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde la unidad de combustión de licor negro y el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde el horno de cal de la planta de kraft.

n Indica un factor de emisión nuevo que no estaba presente en las *Directrices de IPCC de 1996*

r Indica un factor de emisión que se revisó a partir de las *Directrices de IPCC de 1996*

Figura 4. Factores de emisión de GEI para los combustibles. Factores de emisión por defecto para la combustión estacionaria en la INDUSTRIA ENERGÉTICAS (kg de gas invernadero por TJ sobre una base calórica neta).

Fuente: Reporte de Mitigación al Cambio Climático (2018).

2.2.2.2 Industria eléctrica

El reporte de mitigación expresa que las emisiones de CO₂ de las plantas térmicas de generación de electricidad y calor, provienen de la combustión del gas natural, gasoil y fuel oil. Asimismo, las oportunidades de reducción de emisiones en estas instalaciones, derivan del cambio

de combustible o sustitución del gasoil y fueloil por gas, de la incorporación de tecnologías que permitan un aprovechamiento más eficiente de la energía, o de la sustitución de la generación termoeléctrica por el aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables.

2.2.3. Microcontroladores

Según Pedreros (2012) recibe el nombre de controlador aquel dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. De esta manera, un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador. Además, su comunicación al exterior se realiza a través de las líneas que gobiernan los periféricos denominados puertos.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

2.2.3.1 Arduino UNO

De acuerdo a los colaboradores de Wikipedia, el Arduino Uno es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P. Además, la placa está equipada con conjuntos de pines de entradas y salidas digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. Los pines son programables con el Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) a través de un cable USB tipo B.3 y puede ser alimentado por el cable USB o por una batería externa de 9 voltios, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 voltios. Entre sus otras características técnicas más resaltantes están:

- Pines digitales. Estos pines están numerados en un rango de 0 hasta 13. Pueden tener una entrada o salida de 0V o 5V.
- Pines analógicos. Está conformado por los pines desde A0 hasta la A5 pueden ser utilizado como entrada o como salida.
- Memoria Flash: 32 KB de los cuales 0.5 KB utilizados por el gestor de arranque
- SRAM: 2 KB

- EEPROM: 1 KB
- Velocidad del reloj: 16 MHz

2.2.4 Teoría de adquisición de datos

Agüero (2017, p.1), afirma que “la adquisición de datos es un proceso mediante el cual fenómenos físicos del mundo real (sistema analógico) son transformados en señales eléctricas”. Asimismo, estas señales son medidas y convertidas en formato digital (conversión analógica-digital) para su procesamiento, análisis y posterior almacenamiento en una computadora. Para este fin son diseñados los módulos de digitalización o tarjetas de Adquisición de Datos (DAQ). Por lo general, un sistema de adquisición de datos (Ver Figura 5) se compone básicamente de: Sensores y transductores, acondicionamiento de la señal, hardware y software para la adquisición de datos, PC (sistema de operación).



Figura 5. Partes de un sistema DAQ.

Fuente: Agüero (2017).

2.2.4.1 Sensores y transductores

Los transductores son la interface entre el mundo real y el sistema de adquisición tienen la función de convertir la variable física que se desea registrar en una magnitud eléctrica (voltaje, corriente, resistencia, capacidad, inductancia, etc.) (Pedreros, 2012, p. 16). Según Llamas (2016), los sensores MQ están compuestos por un sensor electro-químico que varía su resistencia al estar en contacto con las sustancias. Los sensores de gases son dispositivos con alta inercia, es decir, la respuesta necesita tiempos largos para estabilizarse tras un cambio de concentración de los gases medidos. Asimismo, todos los modelos MQ disponen de un calentador necesario para elevar la temperatura del sensor, y que sus materiales adquieran la sensibilidad para que la lectura del sensor sea fiable.

➤ Sensor MQ-5

De acuerdo a la página web Tostatronic, este sensor es un dispositivo con alta sensibilidad y con un tiempo de respuesta rápido en cuanto detecte el gas, en la Figura 6 se puede observar las curvas de sensibilidad para cada gas en su rango de medición. Asimismo, su salida es a través de una terminal, siendo una señal de voltaje analógico variable con respecto a la magnitud medida. Su alimentación recomendada es a 5 V. Entre otras de sus características están:

- La señal de salida TTL es baja. (Cuando la luz de señal de salida baja, y se puede conectar directamente al microcontrolador).
- 0 ~ 5V voltaje de salida análogo, más alta es la concentración, más alto el voltaje.
- Potencia de consumo: <950mW.
- Tiempo de precalentamiento: no menos de 48 horas.

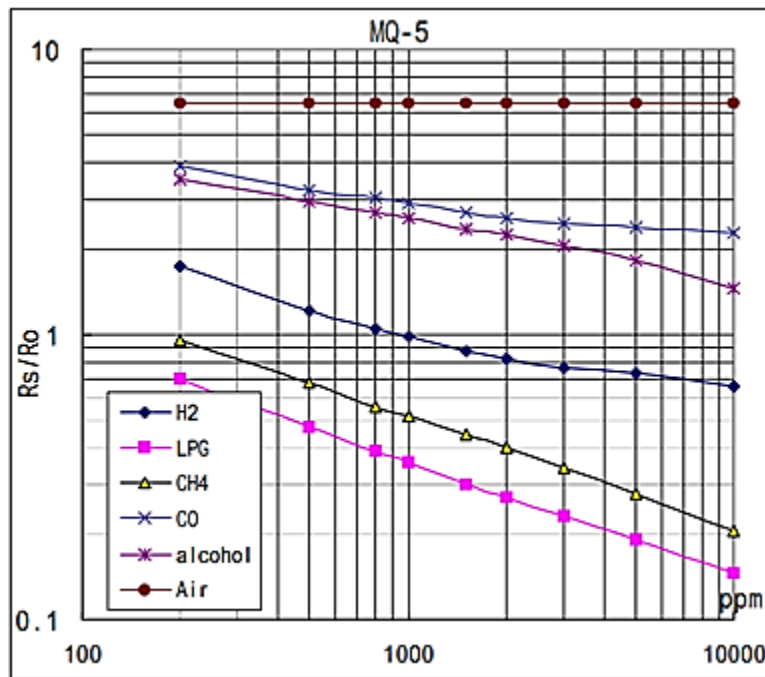


Figura 6. Características de sensibilidad del MQ-5.

Fuente: Hoja de datos, *Hanwei Electronics CO* (s.f.).

➤ Sensor MQ-135

Altronics (s.f) afirma que este sensor es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, por lo general es implementado en circuitos de control como alarmas en las casas, sitios donde se desea prevenir altos niveles de contaminación a nivel aeróbico como industrias que manejan compuestos químicos que pueden ser nocivos también para la salud. Asimismo, el MQ-

135 se encarga de la detección de concentración de gas en diversos porcentajes con salidas analógica (directamente proporcional al incremento de voltaje) y digital (con niveles TTL). Las curvas de sensibilidad para cada gas en su rango de medición se pueden observar en la Figura 7. Entre sus principales características según la hoja de datos destacan:

- Voltaje de operación: 5V DC.
- Potencia de consumo: <800mW.
- Tiempo de precalentamiento: Más de 24 horas.
- Detección de partes por millón: 10ppm~1000ppm (Benceno), 10ppm~300ppm (Amoníaco), 10ppm~300ppm (Alcohol).

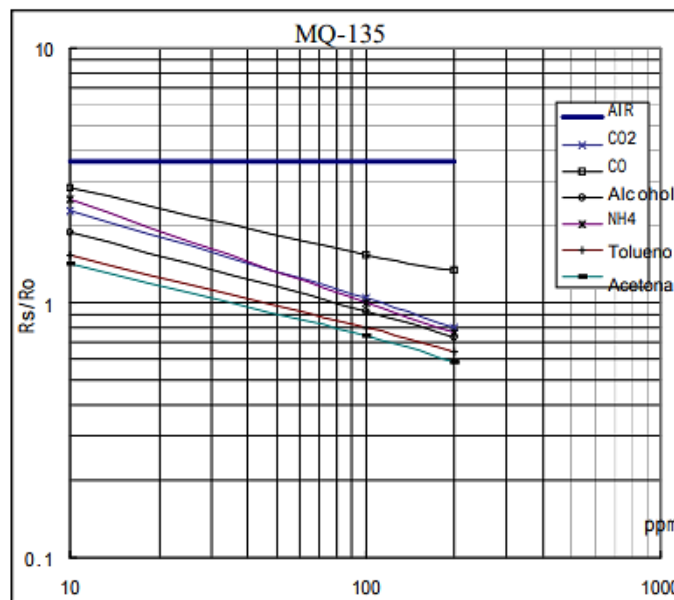


Figura 7. Características de sensibilidad del MQ-135.
Fuente: Hoja de datos, *Hanwei Electronics* (s.f).

2.2.4.2 Acondicionamiento de la señal

El objetivo del acondicionador de señal es generar, a partir de lo obtenido por los sensores, una señal que sea aceptable por las tarjetas de adquisición de datos. Las funciones principales que va a tener que realizar el acondicionador de señal son las siguientes:

- **Transformación:** transformación de la señal de los sensores a diferencial de potencial en caso de que la salida de los sensores sea distinta a esto.
- **Amplificación:** para que la señal pueda ser detectada correctamente por la tarjeta de adquisición de datos, en caso de ser de baja magnitud.

- **Filtrado:** proceso para eliminar ruidos de alta frecuencia que pueden hacer perder exactitud al sistema de adquisición de datos.
- **Excitación:** para sensores que requieran de una excitación para producir la variación proporcional a la magnitud a medir.
- **Linealización:** no todos los sensores varían linealmente, es por ello que se deben realizar los cálculos necesarios para que esta variación sea lineal.

2.2.4.3 Hardware – software para la adquisición de datos (DAQ)

Según Agüero (2017, p.2), en la práctica, las señales analógicas varían continuamente con el tiempo y un conversor A/D de la tarjeta de adquisición de datos realiza muestras periódicas de la señal a una razón predefinida, convirtiéndolas a formato digital. Estas muestras son transferidas a una PC donde la señal original es reconstruida. Uno de los parámetros importantes de la tarjeta de adquisición DAQ es la resolución en voltaje, esto es el menor cambio en la tensión de entrada que puede detectar la placa. Esta resolución está determinada por el rango de medición y el número de bits de la placa. Dicho rango indica los niveles máximo y mínimo de la señal analógica de entrada para que el conversor A/D la pueda digitalizar. Por otro lado, en los conversores A/D suele especificarse el número de bits que el conversor emplea para digitalizar la señal. El número de niveles en el cual se puede dividir el rango operativo para aproximar la señal de entrada viene dado por 2^n , siendo n el número de bits del conversor: $n^{\circ} \text{ de niveles} = 2^n$. De esta manera, cuanto mayor sea la resolución del DAQ, mayor es el número de divisiones del rango operativo y menor será el cambio detectable (Ver Figura 8), esta resolución viene dada por la expresión:

$$\text{Resolución en voltaje} = \frac{\text{Rango operativo}}{2^n} \quad (1)$$

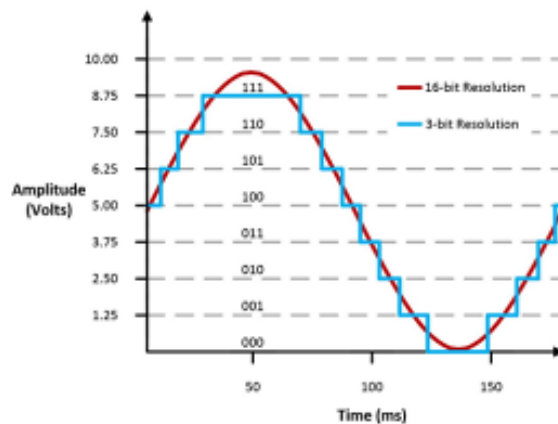


Figura 8. Onda senoidal adquirida con un conversor A/D de 3 bits y otro de 16 bits de resolución.
Fuente: Agüero (2017).

➤ Muestreo de señales

Otro parámetro importante en la adquisición de señales es la velocidad con la que la tarjeta DAQ muestrea la señal de entrada: frecuencia de muestreo, es decir, cada cuanto tiempo la señal registra un dato. Por otro lado, el teorema de Nyquist (teorema de muestreo) expresa que se debe muestrear a una frecuencia mayor que dos veces la frecuencia más alta de la señal ($f_m > 2f_{señal}$). Desafortunadamente, esta frecuencia a menudo es inadecuada para los propósitos prácticos afirma Agüero (2017). En consecuencia, típicamente el muestreo se hace varias veces por encima de la máxima frecuencia de la señal ($f_m \geq 10f_{señal}$).

2.2.5 Transmisión de datos

2.2.5.1 Transmisión de datos vía puerto USB

De acuerdo a Barragán y Suárez el bus universal en serie, “consiste en una norma para bus periférico, desarrollado tanto por industrias de computación como de telecomunicaciones. El USB permite adjuntar dispositivos periféricos a la computadora rápidamente, sin necesidad de reiniciar la computadora ni de volver a configurar el sistema.” (2002, p.1). Asimismo, estos dispositivos se configuran automáticamente tan pronto como se han conectado físicamente (Ver Figura 9).

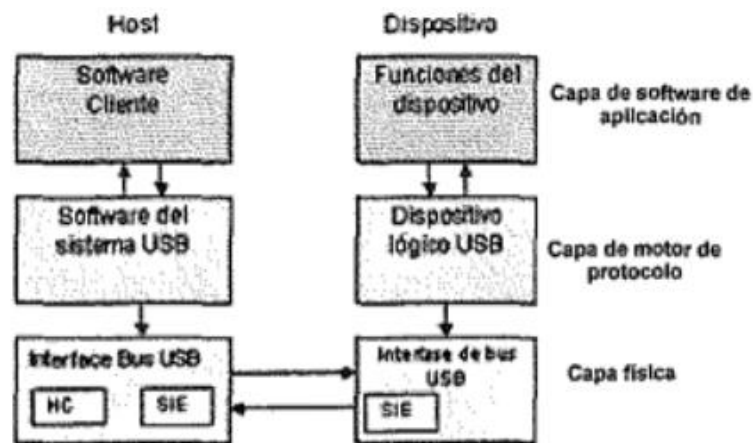


Figura 9. Capas de la comunicación USB.

Fuente: Barrero, Higuera, Chacón (2005).

2.2.5.2 Transmisión de datos inalámbrica

Salazar (s.f, p.6), en su publicación “Redes Inalámbricas” establece que “Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio para conectar los dispositivos, sin la necesidad de utilizar cables de ningún tipo.”. Además, indica que estas redes inalámbricas clasifican en cuatro categorías de acuerdo al área de aplicación y el alcance de la señal, los cuales vienen siendo: redes

inalámbricas de área personal (WPAN), redes inalámbricas de área local (WLAN), redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN), y redes inalámbricas de área amplia (WWAN) (Ver Figura 10). Para fines de la investigación serán utilizados las redes WPAN para el Bluetooth y WLAN para el Wi-Fi.

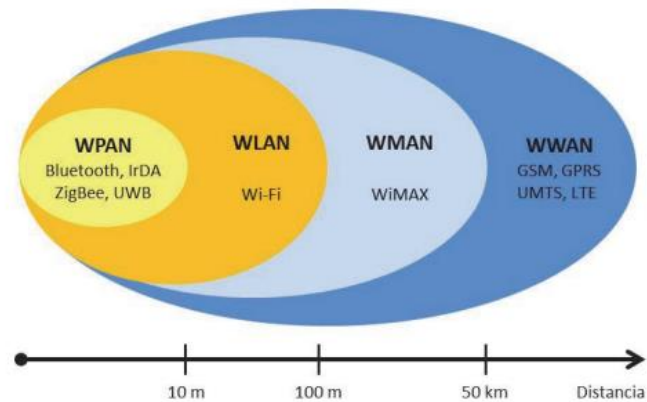


Figura 10. Clasificación de las redes inalámbricas.
Fuente: Salazar (s.f).

➤ **Transmisión de datos vía Wi-Fi**

Las redes inalámbricas de área local (WLAN) están diseñadas de acuerdo a Salazar para proporcionar acceso inalámbrico en zonas con un rango típico de hasta 100 metros y se utilizan sobre todo en el hogar, la escuela, una sala de ordenadores, o entornos de oficina. Esto proporciona a los usuarios la capacidad de moverse dentro de un área de cobertura local y permanecer conectado a la red. Cabe destacar que, las WLAN se basan en el estándar 802.11 del IEEE y son comercializadas bajo la marca Wi-Fi.

➤ **Transmisión de datos vía Bluetooth**

Bluetooth pertenece al estándar IEEE 802.15.1. Según Salazar originalmente Bluetooth fue diseñado para comunicaciones omnidireccionales (punto a multipunto), de bajo consumo de energía, corto alcance y con dispositivos baratos, reemplazando el uso de cables y conectando los dispositivos a través de una conexión ad hoc por radio. Además, los dispositivos que actualmente incorporan esta tecnología se clasifican en tres grupos según su alcance máximo: Clase 1, Clase 2 y Clase 3, donde el rango es de unos 100 metros, 10 metros y 1 metro, respectivamente. Una red Bluetooth también se denomina picored, y se compone de hasta 8 dispositivos activos en una relación maestro-esclavo. Cabe destacar que, el primer dispositivo de Bluetooth en la picored es

el maestro y todos los demás dispositivos son esclavos que se comunican con el maestro como se puede visualizar en la Figura 11.

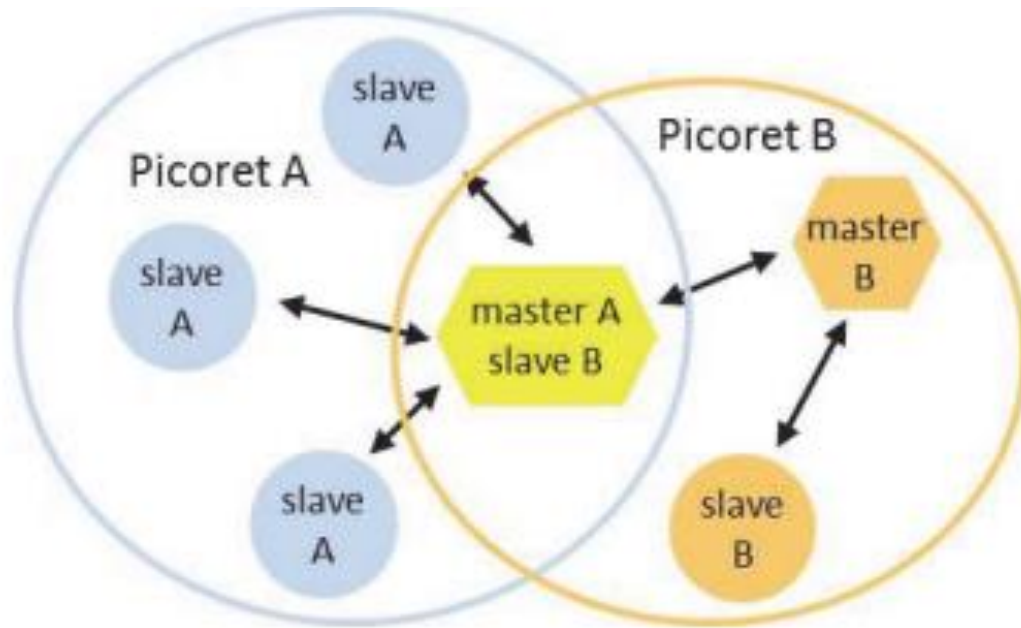


Figura 11. Red dispersa Bluetooth formada de dos picoretos El maestro de la picored A es un esclavo en la picored B.

Fuente: Salazar (s.f).

➤ Módulo ESP32-CP2102

Según Guerra (s.f) en la página web “ProgramarFacil.com” el ESP32 es una serie de SoC (por sus siglas en inglés, *System on Chip*) y módulos de bajo costo y bajo consumo de energía creado por *Espressif Systems*. Esta nueva familia es la sucesora del conocido ESP8266 y su característica más notable es que, además de Wi-Fi, también soporta Bluetooth. Además, dicho módulo logra un consumo de energía muy bajo a través de funciones de ahorro de energía que incluyen sincronización de reloj y múltiples modos de operación. En la Figura 12, tomada de la hoja de datos, se muestran todos los bloques funcionales que conforman un SoC ESP32.

Por otro lado, este módulo también presenta el chip CP2102, el cual según Carrod Electrónica (2014) es un convertidor que “permite que un microcontrolador y una PC se comuniquen utilizando el protocolo USB de forma sencilla sin afectar la depuración de comunicaciones en serie normal.” A continuación, se tiene una lista de las características más resaltantes de este convertidor obtenidas de la hoja de datos del mismo:

- Especificación USB 2.0 de velocidad completa de 12 Mbps
- Voltaje de entrada por USB: 4.0-5.25V

- Transceptor USB integrado, no requiere de resistencias externas
- Reloj integrado
- Regulador de voltaje de 3.3V interno

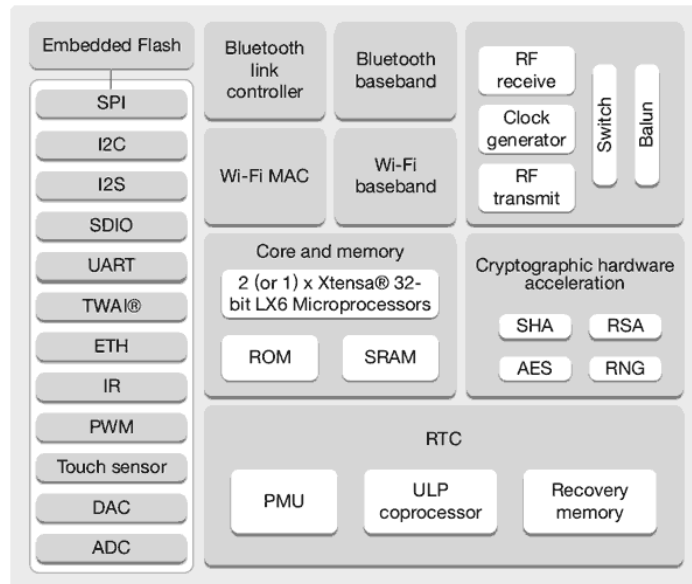


Figura 12. Bloques funcionales de un SoC ESP32.
Fuente: Guerra (s.f).

2.2.6 Interfaz gráfica

Leyto (2021) expresa que la interfaz gráfica de usuario, conocida también como GUI (del inglés *graphical user interface*), utiliza imágenes, iconos y menús para mostrar las acciones disponibles en un dispositivo, entre las que el usuario puede escoger una o varias. Así como mostrar datos de interés para el usuario. Estas interfaces son desarrolladas con un determinado lenguaje de programación, en el caso de la presente investigación, el lenguaje a utilizar será Python.

Tkinter es el paquete estándar de Python para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario. Por ese motivo, se incluye al instalar el propio entorno, sin que sea necesario importar nada adicional para empezar a utilizarlo. Según Domínguez (2022, p.3), este paquete fue escrito por Fredrik Lundh y su nombre procede de la interfaz Tk en la que está basado. En realidad, se trata de una API (Application Programming Interface interfaz de programación de aplicaciones) creada específicamente para utilizar Tk desde Python.

Asimismo, Domínguez expresa que Tk es un framework multiplataforma de software libre, que proporciona una biblioteca de controles gráficos para el desarrollo de interfaces de usuario en Tel. Al igual que Python, este sencillo lenguaje de propósito general es interpretado y soporta múltiples paradigmas de programación, incluyendo la orientada a objetos y la imperativa o tradicional. Tkinter ofrece una gran variedad de componente gráficos (a los que se conoce como widgets) con los que construir las interfaces de usuario. Para su diseño, se emplea una estructura jerárquica, en cuya parte superior está la ventana principal, donde se sitúan tanto los widgets sencillos (por ejemplo, botones, menús, campos de texto, etc.) como aquellos que a su vez contienen otros widgets (por ejemplo, frames, paneles, etc.).

2.3 Bases legales

El tema del cambio climático y la producción de gases de efecto invernadero, se basa en un amplio marco legal y normativo que regula y fundamenta las acciones del Estado y de los ciudadanos en esta materia, que esta referido a convenciones, estrategias y acuerdos internacionales, así como la amplia legislación nacional en materia ambiental, que incluye la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, Ley orgánica del Ambiente, Ley de Educación, normas COVENIN, entre otras.

2.3.1 Convenciones y Estrategias Internacionales

2.3.1.1 Convención Marco sobre Cambio Climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), es firmada en su momento por 166 Estados comprometidos en la meta fijar la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) a niveles en la atmosfera que evitaran obstrucciones entrópicas con el clima. Entró en vigor el 21 de marzo de 1994 y establecido la meta temporal de reducir las emisiones de estos gases a niveles parecidos a los del año 1990.

2.3.1.2 Protocolo de Kioto

En tal sentido, el compromiso internacional para frenar el cambio climático, nace en diciembre de 1997 en la ciudad de Kioto, Japón, durante de la tercera Conferencia de las Partes del Convenio Marco sobre Cambio climático, que reunió 125 países, comprometiéndolos a reducir las emisiones de los seis Gases de Efecto Invernadero.

2.3.1.3 Acuerdo de París

Este acuerdo fue el primer pacto universal e histórico de lucha para entrar en acción e intentar frenar el cambio climático. Reúne a 195 delegaciones de países y la Unión Europea (UE),

el 12 de diciembre 2015. Su objetivo principal era limitar el calentamiento de la tierra; además, los países pueden financiar a la reducción de las emisiones de GEI según sus capacidades.

2.3.2 Marco Jurídico Nacional

2.3.2.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)

Artículo 107. La educación ambiental es obligatoria en los niveles y modalidades del sistema educativo, así como en la educación ciudadana no formal.

➤ **Capítulo IX De los derechos ambientales que comprenden los artículos 127, 128 y 129**

Artículo 127. Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene el derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás área de especial importancia ecológica.

Es una obligación fundamental del estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidas, de conformidad con la Ley.

Artículo 128. El estado desarrollará una política de ordenación del territorio, atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales. Sociales. Culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentables, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollara los principios y criterios para este ordenamiento.

2.3.2.2 Ley Orgánica del Ambiente

Artículo 34. La educación ambiental, tiene por objeto promover, generar, y consolidar en los ciudadanos y ciudadanas conocimientos, aptitudes y actitudes para contribuir con las transformaciones de la sociedad, que se reflejara en alternativas de solución a los problemas socio-ambientales, contribuyendo así al logro del bienestar social, integrándose en la gestión del ambiente a través de la participación activa y protagónica, bajo la premisa del desarrollo sustentables.

Para la presente investigación es de vital importancia el impacto de los gases invernaderos sobre el ambiente, ya que más allá de controlar la emisión de gases para disminuir posibles

incendios o accidentes, también considera contribuir en las medidas y acciones de mitigación para salvaguardar a una población susceptible de cambio climático por acción de los GEI. Los cambios en el sistema climático son reales y no tienen precedentes, por lo que se deben tomar las acciones pertinentes. En tal sentido esta legislación le da marco legal a la investigación, en cuanto al cambio climático se refiere.

2.3.3 Normas de regulación de GEI

2.3.3.1 Norma venezolana gas natural COVENIN 3568-1:2000

Esta norma venezolana, en el conjunto de sus partes, establece los conceptos relativos a las propiedades del gas natural y las características mínimas de calidad que deben cumplir en las diversa etapa de la cadena de producción y utilización del mismo. Esta guía adopta un enfoque con la intención de reducir el riesgo resultante del uso de productos, procesos o servicios. Se considera el ciclo de vida completo de un producto, proceso o servicio, incluyendo tanto el uso previsto como el abuso razonablemente previsible. Asimismo, en relación a este gas se tiene la norma COVENIN 2569-89 Gas natural. Análisis por cromatografía de gases.

2.3.3.2 Norma venezolana concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición COVENIN 2253:2001.

Establece las concentraciones ambientales permisibles (CAP) de sustancias químicas en los lugares de trabajo, bien sea polvos, gases, vapores o humos que debido a sus propiedades o a las características del proceso, pasan al ambiente de trabajo y representan las condiciones bajo las cuales se acepta que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos a su salud. Además, en esta norma se presentan los Límites de Exposición Breve (LEB), lo cual es la concentración a la que un individuo puede estar expuesto durante máximo 15 minutos sin sufrir ciertas repercusiones en la salud (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Concentraciones ambientales permisibles según norma COVENIN 2253:2001.

Gas	CAP		LEB	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Metano	C	-	-	-
Gas licuado de petróleo	1000	-	-	-

Dióxido de carbono	5000	-	30000	-
---------------------------	------	---	-------	---

C: Asfixiante simple

Fuente: Norma Venezolana COVENIN 2253:2001 (2001).

Elaborado por: Reyes (2022).

2.3.3.3 ISO 14064-1 Sistema de gestión Huella de Carbono

Cuidar el medio ambiente y ser cada vez más sostenible es uno de los objetivos prioritarios en la actualidad. Saber cuánto CO₂ equivalente está emitiendo una organización es el primer paso para tratar de luchar contra el cambio climático. Este diagnóstico asegura identificar y reducir las fuentes que generan gases de efecto invernadero, lo que se convierte en un ahorro energético y por tanto económico para las organizaciones, así como cumplir con los requisitos legales y otros que la organización suscriba. En tal sentido, la normativa presentada para la presente investigación da alcances que sirven como base para identificar fuentes que generan GEI, identificar los procesos, áreas y equipos que consumen energía y proponer medidas para reducir o compensar parte de la huella de carbono.

2.4 Definición de términos

C++: lenguaje de programación compilado, multiparadigma, principalmente de tipo imperativo y orientado a objetos, incluyendo también programación genérica y funcional.

Interfaz gráfica: es la forma en que un usuario puede interactuar con un dispositivo informático sin introducir comandos de texto en una consola.

Python: es un lenguaje de alto nivel de programación interpretado y de programación multiparadigma, ya que soporta parcialmente la orientación a objetos y programación imperativa.

Procesos industriales: es todo aquel que convierte una materia prima en un bien o producto final.

Gases de efecto invernadero (GEI): son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales y resultantes de la actividad humana, que absorben y emiten radiación infrarroja y causan el efecto invernadero.

Gas natural: constituye una mezcla de hidrocarburos y pequeñas cantidades de compuestos no-hidrocarburos en fase gaseosa o en solución con el petróleo crudo a nivel de reservorio.

Dióxido de carbono: el CO₂ es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como gas incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar (TPS). Íntimamente relacionado con el efecto invernadero.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Según Arias (2006, p. 110), el marco metodológico es “el cómo se realizará el estudio para responder el problema planteado”. De este modo, el marco metodológico se encarga de exponer los aspectos relacionados con la metodología. En este capítulo se establecerán los parámetros metodológicos propios de la naturaleza de la investigación, tales como las técnicas y los instrumentos que facilitarán al autor la recolección de los datos y las fases que rigen la investigación.

3.1 Tipo de Investigación

De acuerdo a Palella y Martins (2012) el tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que va a realizar. Orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios. El proyecto factible consiste en elaborar una propuesta viable destinada a atender necesidades específicas, determinadas a partir de una base diagnóstica, exponen Palella y Martins (2012).

De igual forma, expresa que la investigación de tipo proyecto factible es aquella que representa la elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales. Asimismo, este tipo de investigación puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos.

De esta manera, se considera que la presente investigación es de tipo proyecto factible ya que la misma plantea una propuesta de desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino, específicamente para la medición de gases emanados en todos aquellos procesos industriales que involucren el GN como fuente de energía produciendo; en consecuencia, CO₂. Dicho dispositivo es propuesto con el objetivo de representar una alternativa tecnológica que pueda influir de manera positiva en la seguridad tanto de la empresa como de los empleados que allí trabajan y sus alrededores, es decir, el ambiente.

3.2 Diseño de la Investigación

Según Palella y Martins, el diseño de investigación se refiere a “la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio. Para fines didácticos, se clasifican en diseño experimental, diseño no experimental y diseño bibliográfico.” (2012, p. 86). Asimismo, de acuerdo a Palella y Martins el diseño no experimental o de campo es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. De igual forma, se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real, sin construir una situación específica sino observando la existente para posteriormente analizarla. En el caso de esta investigación el diseño es no experimental debido a que las mediciones del dispositivo se plantean medir en el ambiente de la industria, en donde las concentraciones de gases ya están definidas y no se puede influir sobre ellas.

De igual forma, el diseño de la investigación se considera documental, ya que para su desarrollo es necesario la revisión bibliográfica que permita tanto desarrollar la tarjeta de adquisición de datos como el posterior análisis de los resultados. Este concuerda con la definición de Palella y Martins (2012, p. 87), expresan que el diseño bibliográfico “se fundamenta en la revisión sistemática, rigurosa y profunda de material documental de cualquier clase.”.

3.3 Nivel de la Investigación

Según Palella y Martins (2012) el nivel de investigación se refiere “al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno”. El tipo de investigación a realizar determina los niveles que es preciso desarrollar y se divide principalmente en nivel explicativo, descriptivo y exploratorio. Asimismo, de acuerdo a Palella y Martins (2012) el propósito del nivel descriptivo es el de interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. De igual forma, el nivel descriptivo hace énfasis sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente. Además, señalan que este nivel de investigación consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

En tal sentido, se considera que el nivel de la investigación es de tipo descriptivo, ya que al establecer el diseño más eficaz para la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino, se estará describiendo su comportamiento en el tiempo, caracterizando su funcionamiento para, posteriormente, ser implementado, luego de su correspondiente simulación; lo cual concuerda con

lo que busca el nivel descriptivo descrito por Palella y Martins. Cabe destacar que, en el caso de este proyecto no se busca la determinación de los efectos de la problemática.

3.4 Población y Muestra

Según Arias (2006) la población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. En este sentido, la población se refiere al grupo de individuos u objetos a los cuales va dirigida la investigación. Siguiendo este orden de ideas, el trabajo de investigación tiene por objetivo general desarrollar una tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino para medición de gases emanados en los procesos industriales. Con esto en mente, la población a la que va dirigida la investigación vendría siendo las tarjetas de adquisición de datos; ya que estas tarjetas pueden medir una gran cantidad de magnitudes, las cuales pueden ser utilizadas en la industria o no.

Por otro lado, Palella y Martins (2012), definen la muestra como una parte o el subconjunto de la población dentro de la cual deben poseer características que se reproducen de la manera más exacta posible. En síntesis, la muestra es un porcentaje de la población que puede representarla en su totalidad. Considerando lo explicado anteriormente, la muestra de la investigación son las tarjetas de adquisición de datos para medición de gases, ya que estas por la naturaleza tanto de los gases como de los sensores requieren un sistema en donde es necesario enlazar los sensores con la tarjeta de adquisición de datos; debido a que cada sensor es sensible a ciertos gases en específico por las características de los mismos.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Técnica

Según Sierra “las técnicas de recolección de datos son una directriz metodológica que orienta científicamente la recopilación de la información o datos” (2004, p. 71). Por otro lado, Arias expone que la observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos (2006, p.69).

Siguiendo el orden de ideas, la observación es una técnica que se clasifica en observación directa e indirecta, o estructurada y no estructurada; cabe destacar que la observación puede tener ambas características como lo es el caso de la presente investigación, que como técnica de recolección de datos se tiene una observación directa estructurada. Según Palella y Martins (2012, p. 118), en la observación directa el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho

o fenómeno que trata de investigar. Por otra parte, la observación estructurada es aquella que además de realizarse en correspondencia con unos objetivos, utiliza una guía diseñada previamente, en la que se especifican los elementos que serán observados.

De esta manera, se considera que esta es la técnica adecuada para la recolección de los datos de la investigación ya que, al desarrollar físicamente el proyecto y; posteriormente, realizar mediciones con el mismo en un ambiente determinado se puede observar su funcionamiento. Desde otro punto de vista, la observación a realizar será estructurada debido a que ya se conocen los elementos a evaluar en el comportamiento del dispositivo, como lo son la transmisión de las mediciones y la generación de alarmas de manera correcta y eficaz, además para recabar esa información serán utilizados los instrumentos descritos a continuación.

Adicionalmente, como técnica se plantea la revisión documental y la entrevista que según Arias (2006, p. 73) “es una técnica basada en un diálogo o conversación entre el investigador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida.”. Esta última técnica es útil para recabar información con las empresas mencionadas en los recursos sobre los métodos de prevención que utilizan las industrias actualmente al momento de prevenir fugas de gas.

3.5.2 Instrumento

Los instrumentos de recolección de datos, de acuerdo a Sierra son “aquellos objetos materiales que permiten adquirir y analizar datos” (2004, p. 72) mediante los cuales pueden ser comprobados los objetivos planteados. La presente investigación consta de dos instrumentos de recolección de datos; el principal de ellos es la tarjeta de adquisición de datos, la cual a través de la programación realizada en el microcontrolador incorporado en la tarjeta de desarrollo Arduino, en conjunto con los sensores MQ-5 y MQ-135, permitirá recolectar las concentraciones de GN y de CO₂ que se presenten en el entorno.

Por otra parte, para anotar las observaciones y las mediciones realizadas por la tarjeta de adquisición de datos se hará uso de una lista de cotejo tabulada (Ver Apéndice C) que contiene los parámetros evaluados para dar cumplimiento a los objetivos planteados. Entre estos aspectos a evaluar se encuentran las mediciones tanto sin gas como con gas del prototipo, si el mismo disparó las alarmas ante los estímulos presentados, entre otros. Asimismo, para el cumplimiento del primer objetivo específico relacionado con los procesos industriales se tiene un guión de entrevista a realizar en las empresas mencionadas en recursos (Ver Apéndice A).

3.6 Técnica de análisis de resultados

Para realizar la selección de los componentes de la tarjeta de adquisición de datos, se utilizará la matriz FODA. Luego de la recolección de datos con el instrumento diseñado, estos serán registrados en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino, para ser transmitidos de manera inalámbrica a la interfaz gráfica desarrollada con el lenguaje de programación Python donde se podrá visualizar la representación gráfica de la variación de las concentraciones del GN y del CO₂ en función del tiempo de medición. Esto en conjunto con las respuestas de la lista de cotejo, se podrá analizar la eficiencia y eficacia del prototipo en la detección de los gases mencionados anteriormente.

3.7 Fases metodológicas

Fase I. Identificación de los procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación.

En esta fase se recopilará mediante revisión bibliográfica, la información correspondiente a los distintos procesos industriales que actualmente emplean el GN como fuente combustible para su producción, así como todos aquellos que sean causantes de las emanaciones de parte de estos gases contaminantes de efecto invernadero, tal como el CO₂ y el GN que; a pesar de ser menos contaminante que otras fuentes combustibles utilizadas a lo largo del tiempo como el carbón, está compuesto en su mayoría por gas metano (CH₄) que es un gas de efecto invernadero. De esta manera, se podrán localizar las industrias de interés para el estudio.

Fase II. Establecimiento de los niveles de emisión de dióxido de carbono CO₂ y gas natural GN permitidos por los organismos regulatorios de emanación de estos gases para la disminución del impacto ambiental.

Seguidamente, en la fase II se recopilará mediante revisión bibliográfica igualmente, la información en relación a los niveles de emisión de CO₂ y GN permitidos por las normativas vigentes. Haciendo una diferenciación entre los niveles de seguridad del gas natural como gas combustible, ya que este tiene concentraciones que suponen un riesgo a posibles combustiones que pueden generar todos los accidentes planteados anteriormente, estos niveles son necesarios para la programación de la tarjeta de adquisición de datos; ya que, ante estos es que la tarjeta efectuará una u otra determinada salida, es decir, la presencia de alarmas o la ausencia de ellas, entre otras respuestas. Por otro lado, se tienen las concentraciones permitidas tanto del GN como

del CO₂ con fin ambiental, de manera que se controlen las emisiones de ambos gases para reducir o, en su defecto, no aumentar el impacto ambiental supuesto por este tipo de industrias.

Fase III. Determinación de los componentes de la tarjeta de adquisición de datos para la medición y generación de alarmas en los niveles de dióxido de carbono CO₂ y gas natural GN.

Por otra parte, la fase III se centrará en recabar información sobre los componentes propios de una tarjeta de adquisición de datos, así como también sobre los sensores a utilizar tanto para la medición del GN y del CO₂, como para efectuar correcciones en las medidas realizadas por estos. Todo esto sabiendo los procesos sobre la teoría de adquisición de datos, es decir, desde la obtención de la señal, hasta su acondicionamiento para un correcto procesamiento por parte del microcontrolador integrado en la placa Arduino, y su posterior transmisión. Esta última, al ser inalámbrica requiere de un módulo adicional a la placa Arduino para lograr la comunicación vía Wi-Fi y Bluetooth. De igual forma, es necesario especificar los componentes para la generación de alarmas, tanto visual, como sonora.

Fase IV. Diseño de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino con estilos fijo y portátil.

Posterior a la determinación de los componentes a utilizar y de identificar los límites que regirán la activación o no de alarmas, se procederá a realizar el diseño de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino, utilizando el software propio de este último, el cual utiliza el lenguaje de programación C++. En esta tarjeta de desarrollo se programarán diversos elementos tales como los sensores, la linealización de su salida, el sensor que permita corregir sus mediciones, la activación de las alarmas visuales y sonoras en los pines digitales de la tarjeta. Por otro lado, en cuanto a la parte física, se organizarán todos los elementos conectados a la tarjeta de adquisición de datos para lograr un prototipo que sea transportable de manera cómoda y sencilla.

Fase V. Desarrollo de una interfaz gráfica que muestre los niveles de gases emitidos y alarme al operador en caso de anomalías de estos valores haciendo uso del lenguaje de programación Python.

Seguidamente, en la fase V se procederá a programar una interfaz gráfica en el lenguaje de programación Python, mediante el cual a través de sus librerías y herramientas disponibles para el desarrollo de Interfaces Gráficas de Usuario (IGU), será posible visualizar una transmisión a tiempo real de las concentraciones de GN y CO₂ por transmisión ya sea vía Wi-Fi o por Bluetooth.

Además, con el apoyo de la memoria del microcontrolador incorporado en la placa de desarrollo Arduino UNO, se podrán visualizar los registros de mediciones de un intervalo de tiempo determinado; así como una representación gráfica de estos valores con respecto al tiempo.

Fase VI. Evaluación del costo de la implementación del sistema prototipo.

Por último, a lo largo de esta fase se tomarán en cuenta todos los recursos necesarios para la elaboración del prototipo, desde todos los componentes utilizados para el diseño de la propuesta, tales como los sensores, el módulo de Wi-Fi y Bluetooth, la fuente externa del prototipo, hasta los servicios y materiales de oficina. Asimismo, se realizarán los cálculos necesarios para evaluar la factibilidad económica de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino.

3.8 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 3. Cuadro técnico-metodológico.

Objetivo de la investigación	Desarrollo de una tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino para medición de gases emanados en los procesos industriales.			
Objetivos específicos	Variables	Dimensiones	Indicadores/Criterios	Instrumento
Identificar procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO ₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación.	Procesos industriales que involucran el CO ₂ GN.	- Procesos industriales que utilizan GN. - Procesos industriales que emanan CO ₂	- Gas Natural - Dióxido de carbono	Entrevista, Revisión bibliográfica.
Establecer los niveles de emisión de dióxido de carbono CO ₂ y gas natural GN permitidos por los organismos regulatorios de emanación de estos gases para la disminución del impacto ambiental.	Niveles de emisión de GN y CO ₂ permitidos.	- Concentraciones de GN. - Concentraciones de CO ₂ .	Nivel de seguridad de las concentraciones por color y su valor en partes por millón.	Tarjeta de adquisición de datos, lista de cotejo.
Diseñar la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino con estilos fijo y portátil.	Tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino.	- Sensores. - Arduino. - Alarmas.	Mediciones: - Valores visualizados en la pantalla LCD. - Valores visualizados en la interfaz gráfica Python transmitidos por USB. Alarmas: - Leds para indicar los niveles de seguridad por color. - Alarma por Buzzer. - Mensaje mostrado en la interfaz gráfica Python.	Lista de cotejo.
Desarrollar una interfaz gráfica que muestre los niveles de gases emitidos y alarme al operador en caso de anomalías de estos valores haciendo uso del lenguaje de programación Python.	Interfaz gráfica en Python para mostrar los niveles de gases emitidos y alarmar al operador.	- Muestra de valores de concentraciones. - Muestra de valores en gráfica con respecto al tiempo - Alarmas al operador.	- Valores - Gráfica - Mensajes de alarma	Computador, lista de cotejo.

Fuente: Reyes (2022)

Elaborado por: Reyes (2022).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En el presente capítulo se desarrollan cada una de las fases metodológicas que buscan dar respuesta a los objetivos específicos de la investigación, iniciando con el diagnóstico de los procesos industriales en cuanto al uso de GN y emisión de CO₂, anexando además mediante el instrumento de recolección de datos, es decir, el guión de entrevista, la situación actual de algunas de las empresas venezolanas en cuanto al monitoreo y prevención de fugas de gas, así como del registro y cumplimiento de los niveles máximos de emisión permitidos por las normativas ecológicas. Asimismo, se presentan cada uno de los códigos escritos tanto para el diseño de la tarjeta de adquisición de datos, como para el diseño de la interfaz gráfica en la que se visualizan los datos medidos.

4.1 Fase I. Identificación de los procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación.

4.1.1 Gases emanados en procesos industriales

En esta fase se recopiló mediante revisión bibliográfica, la información correspondiente a los distintos procesos industriales que actualmente emplean el GN como fuente combustible para su producción, así como todos aquellos que sean causantes de las emanaciones de parte de estos gases contaminantes de efecto invernadero, tal como el CO₂ y el GN que; a pesar de ser menos contaminante que otras fuentes combustibles utilizadas a lo largo del tiempo como el carbón, está compuesto en su mayoría por gas metano (CH₄) que es un gas de efecto invernadero. De esta manera, se localizaron las industrias de interés para el estudio. Asimismo, en esta fase se presenta la entrevista realizada a dichas empresas con el objetivo de conocer la metodología empleada por estas para el monitoreo de los niveles de GN y CO₂, tanto en sus procesos internos como en los emitidos a la atmósfera.

De acuerdo al Ministerio de Ambiente de Perú, “Las emisiones de GEI del sector Procesos Industriales y Uso de Productos son generados por los procesos industriales, por el uso de gases de efecto invernadero en los productos y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles”. Asimismo, las principales fuentes de emisión son los procesos industriales

que transforman materiales por medios químicos o físicos (por ejemplo, los altos hornos de la industria del hierro y el acero, el amoníaco y otros productos químicos fabricados a partir de combustibles fósiles). Por otro lado, se encuentran los productos que utilizan GEI como refrigeradoras, espumas o latas de aerosol, y así en una serie de productos utilizados por la industria. A continuación, en la Tabla 4 se detallan aquellos procesos de los distintos tipo de industrias que emiten gases de efecto invernadero y cuáles de estos gases emanan.

Tabla 4. Gases GEI emanados por distintas industrias.

Proceso	Descripción	Gases
Procesos Industriales y uso de productos	Emisiones de productos industriales y uso de productos, excluyendo los vinculados a la combustión de energía, extracción, procesamiento y transporte de combustibles y transporte.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Industria de los minerales		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Producción de cemento	Emisiones vinculadas al proceso de la producción de diversos tipos de cemento.	CO ₂ , CH ₄
Producción de vidrio	Emisiones vinculadas a procesos de la producción de diversos tipos de vidrio.	CO ₂ , CH ₄
Otros usos de carbonatos en los procesos	Incluye piedra caliza, dolomita y otros carbonatos, etc.	CO ₂ , CH ₄ , NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Cerámicas	Las emisiones GEI se genera al calentar en altas temperaturas los carbonatos para la producción de ladrillos y tejas, tuberías de arcilla vitrificada, productos refractarios, productos de arcilla expandida, azulejos y pavimentos, vajillas y ornamentos cerámicos, sanitarios, cerámicas técnicas y abrasivos inorgánicos	CO ₂ , CH ₄

Producción de magnesia no metalúrgica	Emisiones de la producción de magnesia que no están incluidas en otras categorías.	CO ₂ , CH ₄
Industria química		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Producción de amoníaco	El amoníaco (NH ₃) es uno de los principales productos químicos industriales y el material nitrógeno más importante que se produce. El gas amoníaco se usa directamente como fertilizante, en el tratamiento de calor, para el desfibrado del papel, la fabricación de ácido nítrico y nitratos, éster de ácido nítrico y la fabricación de compuestos de nitrógeno, explosivos de diversos tipos y como refrigerante.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Producción de ácido nítrico	El ácido nítrico se usa principalmente como materia prima en la fabricación de fertilizantes basados en nitrógeno. El ácido nítrico puede usarse también en la producción de ácido adípico y de explosivos (p. ej., la dinamita), para decapado de metales y en el procesamiento de metales ferrosos.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM
Producción de ácido adípico	El ácido adípico se usa en la fabricación de fibras sintéticas, revestimientos, plásticos, espumas de uretano, elastómeros y lubricantes sintéticos.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x
Producción de caprolactama, glyoxal y ácido glyoxílico	La mayor parte de la producción anual de caprolactama (NH(CH ₂) ₅ CO) se consume como el monómero de las fibras de nilón-6 y de los plásticos que entran en una proporción importante en las fibras utilizadas para la fabricación de alfombras.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM

Producción de carburo	El carburo de silicio es un abrasivo artificial significativo. Se produce a partir de arena de sílice o cuarzo y coques de petróleo. Se utiliza el carburo de calcio en la producción de acetileno, en la fabricación de cianamida y como agente reductor en los hornos de acero de arco eléctrico.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM
Producción de dióxido de titanio	El dióxido de titanio (TiO ₂) es el más importante de los pigmentos blancos. Su principal utilización se da en la fabricación de pinturas, seguido por la fabricación de papel, plásticos, gomas, cerámicas, tejidos, revestimientos de pisos, tinta de imprenta y otros usos varios.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM
Producción de ceniza de sosa	La ceniza de sosa (carbonato de sodio, Na ₂ CO ₃) es un sólido cristalino blanco que se emplea como materia prima en un gran número de industrias, incluida la fabricación de vidrio, jabón y detergentes, la producción de pulpa y de papel, así como en el tratamiento de las aguas.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM
Producción petroquímica y de negro de humo		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Metanol	La producción de metanol cubre la producción de metanol del combustible fósil para la alimentación a procesos [gas natural, petróleo, carbón] que usan procesos con reformado al vapor u oxidación parcial.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, COVDM
Etileno	La producción de etileno cubre la producción de etileno a partir de la alimentación a procesos derivada de los combustibles fósiles en plantas petroquímicas mediante el proceso de escisión por vapor.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂

Dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo	La producción de bicloruro de etileno y el monómero de cloruro de vinilo cubre la producción de bicloruro de etileno por oxidación directa o por la oxiclорación del etileno y la producción del monómero de cloruro de vinilo de bicloruro de etileno.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CO, COVDM
Óxido de etileno	La producción de óxido de etileno cubre la producción de óxido de etileno por la reacción de etileno y oxígeno mediante oxidación catalítica.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Acrilonitrilo	La producción de acrilonitrilo cubre la producción de acrilonitrilo por la amoxidación de propileno y la producción asociada de acetonitrilo y cianuro de hidrógeno por el proceso de amoxidación.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, COVDM
Negro de humo	La producción de negro de humo cubre la producción de negro de humo por la alimentación a procesos derivada de los combustibles fósiles (alimentación a procesos derivada del petróleo del negro de humo del carbón, gas natural, acetileno).	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Industria de los metales		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Producción de hierro y acero	El dióxido de carbono es el gas predominante emitido por la producción de hierro y acero.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Producción de ferroaleaciones	La producción de ferroaleaciones cubre las emisiones de la producción de reducción metalúrgica primaria de las ferroaleaciones más comunes, o sea ferro-silicio, metal de silicio, ferromanganeso, manganeso de sílice y ferrocromo, excluyéndose las emisiones vinculadas al uso de combustibles.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , CO, COVDM, SO ₂

Producción de aluminio	Las emisiones de dióxido de carbono resultantes de la reacción reductora electroquímica de alúmina con un ánodo basado en carbono. También se producen en forma intermitente el tetrafluorometano (CF ₄) y hexafluoroetano (C ₂ F ₆).	CO ₂ , CH ₄ , PFC, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Producción de magnesio	En la producción primaria de magnesio se emite dióxido de carbono (CO ₂) durante la calcinación de las materias primas dolomita y magnesita. La producción primaria de magnesio a partir de materias primas sin carbono no emite dióxido de carbono.	CO ₂ , HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados, NO _x , CO, COVDM, SO ₂
Producción de plomo	La producción de plomo cubre la producción mediante el proceso de aglomeración/fundición, como así también mediante la fundición directa. Las emisiones de dióxido de carbono son el resultado del uso de una variedad de agentes reductores basados en carbono en ambos procesos de producción	CO ₂
Producción de zinc	Tras la calcinación, el metal de zinc se produce por uno de los tres métodos siguientes: 1 – destilación electro-térmica; 2 – fundición piro-metalúrgica; 3 – electrólisis. Si se usan el método 1 o el 2, se emite dióxido de carbono (CO ₂). El método 3 no provoca emisiones de dióxido de carbono.	CO ₂
Industria Electrónica		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados
Circuito integrado o semiconductor	Emisiones de CF ₄ , C ₂ F ₆ , C ₃ F ₈ , c-C ₄ F ₈ , C ₄ F ₆ , C ₄ F ₈ O, C ₅ F ₈ , CHF ₃ , CH ₂ F ₂ , NF ₃ y SF ₆ por usos de estos gases en la fabricación de circuitos integrados (IC, del inglés, Integrated Circuit).	CO ₂ , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ , otros gases halogenados

<p>Refrigeración y aire acondicionado</p>	<p>Los sistemas de refrigeración y de aire acondicionado suelen clasificarse en refrigeración doméstica, refrigeración comercial, procesos industriales, refrigeración de transporte, sistemas estacionarios de aire acondicionado, sistemas móviles de aire acondicionado.</p>	<p>CO₂, HFC, PFC, otros gases halogenados</p>
--	---	--

Fuente: Ministerio del Ambiente, Perú (s.f).
Elaborado por: Reyes (2023).

Como se puede observar por la tabla presentada anteriormente, existen diversos procesos que emplean y/o emanan estos dos gases contaminantes. Sin embargo, los más influyentes en cuanto a emisiones de GN y CO₂ se refiere (En Venezuela), son la industria petrolera y la eléctrica. Cabe recalcar que estos dos gases son los más frecuentes en las industrias mencionadas en la Tabla 5. En general, en Venezuela continúan siendo altos los niveles de emisiones GEI por parte de las industrias petrolera, gasífera, carbonífera y eléctrica, así como los sectores del transporte, construcción, forestal, agropecuario y del manejo de los desechos sólidos.

Por otro lado, el reporte de mitigación de cambio climático en Venezuela expresa que las emisiones de CO₂ de las plantas térmicas de generación de electricidad y calor, provienen de la combustión del gas natural, gasoil y fuel oil. Asimismo, las oportunidades de reducción de emisiones en estas instalaciones, derivan del cambio de combustible o sustitución del gasoil y fueloil por gas, de la incorporación de tecnologías que permitan un aprovechamiento más eficiente de la energía, o de la sustitución de la generación termoeléctrica por el aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables.

De esta manera, para recabar información sobre los sistemas de seguridad para prevenir este tipo de accidentes por fugas de gases se escogieron las empresas “CVG ALUCASA”, “Alice Neumáticos de Venezuela C.A.” y “Planta de Autobuses Yutong Venezuela S.A.”.

4.1.2 Las entrevistas

Para obtener información sobre cómo las empresas previenen las fugas de gases y manejan las emisiones de GN y CO₂, se llevó a cabo una entrevista al personal de superintendencia de ambiente, seguridad y salud laboral de la empresa “CVG ALUCASA”, específicamente al señor Wilkar Leonardo Díaz Aries, trabajador de dicha empresa con el cargo ya especificado (Ver

Apéndice D). En cuanto a los tipos de gas que utilizan en CVG ALUCASA, el Sr. Wilkar especifica que mayormente se usa GN para los hornos de fundición y CO₂ para el sistema de extinción de incendio de los laminadores; para esto último, la empresa cuenta con dos tanques de CO₂ de 10.000 kg, uno de 6.000 kg y otro de 8.000 kg.

Por otro lado, como metodología para la prevención y detección temprana de fugas de gas, se lleva a cabo todo lo establecido en el programa de seguridad referente a inspecciones, estas se realizan de manera mensual. Para realizar las inspecciones, el personal de seguridad utiliza un explosímetro Altair 5X de la marca MSA The Safety Company (Ver Apéndice D), este dispositivo mide concentraciones mínimas de oxígeno y gas natural. El equipo se pasa por toda la red de tuberías de gas de los tanques y las válvulas, así como de las tuberías del área del comedor, al utilizar estas GN también. El explosímetro emite alarmas sonoras, de manera que, cuando se está empezando a acercarse al gas emite ciertos pitidos, mientras que cuando está completamente en presencia del gas emite una alarma sonora más intensa y constante. Además de las inspecciones mensuales se realizan inspecciones adicionales posterior a un movimiento telúrico para verificar que los mismos no hayan producido ningún daño en las tuberías que pueda generar fugas de GN o CO₂.

En referencia a los tanques de CO₂ del sistema contra incendios de laminador, estos requieren seis inspecciones diarias en el formato establecido por la superintendencia. Esta inspección se realiza tres veces en el turno diurno y tres en el turno nocturno. Para detectar una posible fuga del CO₂, se monitorea el volumen del tanque; de manera que, si existe una pérdida constante y fluida de volumen es por una posible fuga; al detectar la misma, se contrata y se emite un correo a una empresa especializada para que corrija la fuga. Cabe destacar que por las características y propiedades del CO₂ en su ciclo de condensación interna, este presenta una pérdida de volumen anual, la cual está entre 1.200 y 1500 kg aproximadamente. Además, los tanques presentan una pérdida mínima por transpiración al tener más de 30 años.

En el caso de la pregunta tres de la entrevista, el superintendente Díaz, expresa que no se ha producido ningún accidente por fugas de gas; ningún tipo de explosión, ni asfixia del personal; esto gracias a las inspecciones realizadas con el explosímetro. Han existido accidentes de asfixia del personal, pero por otras causas como al pintar un área cerrada de la empresa. Asimismo, si se produce una fuga repentina, se controla por el sistema de válvulas de las tuberías.

Sin embargo, se han producido descargas accidentales de CO₂; ya que, si ocurre algún tipo de impericia por parte de algún operador, del personal de seguridad o de mantenimiento, produciendo un cortocircuito el sistema contra incendio se activa y descarga de manera accidental alrededor de 1.500 kg de CO₂. Con respecto a las descargas de operatividad, cuando realmente se está produciendo un incendio en el laminador, el sistema posee un monitoreo de la temperatura del equipo por llama, con descargas de 1.500 kg de CO₂, si el incendio persiste se descargan 1.500 kg más; sin embargo, este proceso es manual, la descarga la realiza un operador.

En relación a las alarmas generadas por dichas fugas, se solían tener detectores de gases en el área del comedor que emitían alarmas sonoras al momento de producirse las fugas; no obstante, debido a un incidente durante el mantenimiento de dicha área, los detectores se mojaron provocando un cortocircuito y se dañaron. Este año se inició el proceso para la compra la adquisición de los detectores nuevamente. Por otro lado, en la planta en sí no hay una alarma por fuga de gases que alarme a todos los trabajadores de la zona; la única alarma con ese rango es la generada por sobrepresión en los tanques de CO₂, activando la válvula de seguridad de emergencia para liberar un poco de la presión para estabilizar internamente el tanque.

Asimismo, en cuanto a la metodología que utiliza la empresa para llevar un registro del GN y CO₂ emanados en el ambiente, el señor Díaz afirma que, al detectar una fuga, se genera una condición insegura del área, hasta que se pueda solucionar la misma; de lo contrario, el área afectada queda fuera de servicio. Estas fugas se incluyen en los reportes mensuales según los indicadores de la empresa; tanto de GN como de CO₂. Por otro lado, la empresa se encuentra vigente con todas las normas ambientales venezolanas, los requerimientos de la Alcaldía y el certificado de conformidad de los bomberos de Guacara, los cuales realizan una inspección anual. Además, el superintendente Díaz comenta que la empresa solía tener la certificación con la norma internacional ISO 14001; sin embargo, no fue posible mantenerla.

Por otro lado, en la empresa Alice Neumáticos de Venezuela C.A. Giolberti Rodríguez, quien es Jefe de Servicio General y Prevención de Incendios, ha revelado que la empresa utiliza CO₂ para el sistema de prevención de incendios y GN para las calderas y el comedor. Asimismo, para la prevención y detección temprana de fugas de gas, la empresa PDVSA realiza inspecciones de las tuberías de GN y la empresa mide constantemente la presión de las tuberías de este gas. También realiza chequeos visuales de los cilindros de CO₂ utilizados en el sistema de prevención

de incendios. En cuanto a accidentes relacionados con fugas de gas, la empresa no ha tenido ninguno en los seis años que lleva el jefe de servicio general.

Cabe destacar que, en caso de que haya una fuga, la empresa cuenta con un sistema de detección general de planta que se puede activar tanto manualmente como por detección de humo o por sensor fotoeléctrico. Este sistema se utiliza a la hora de incendios o en caso de cualquier presencia de humo. Sin embargo, no se activan alarmas por fugas de GN. Por otra parte, la empresa mide la presión de entrada y salida del GN que viene de PDVSA y registra las fugas y emisiones de acuerdo a la Ley Orgánica Ambiental de Venezuela. Además, la empresa se rige por las normas ambientales venezolanas, especialmente la mencionada anteriormente, para controlar los niveles de gases emanados a la atmósfera.

Por último, en la Planta de Autobuses Yutong Venezuela S.A., la Ing. María Brito, Gerente General de Innovación Tecnológica, ha explicado que la empresa utiliza Gas Natural Vehicular (GNV) en sus procesos. Además, para la prevención y detección temprana de fugas de gas, la empresa realiza inspecciones con un detector de gases. En cuanto a accidentes relacionados con fugas de gas, la empresa no ha tenido ninguno.

Asimismo, en caso de una fuga, la empresa cuenta con un sistema de emergencia que cierra el pase del gas al compresor. Las alarmas se activan en dos niveles, siendo el primero de hasta 10% del límite inferior de explosión (LEL) y el segundo de más del 25% del LEL. Para la medición de GN y/o CO₂ en sus procesos, la empresa utiliza un detector de gases y para llevar un registro del GN y CO₂ emanados en el ambiente, la empresa llena un formato para anotar las lecturas del mismo.

De esta manera, se puede evidenciar la importancia de tener un sistema de prevención de fuga de gases que permita evitar los distintos siniestros que puedan presentar este tipo de empresas. En el caso de CVG ALUCASA, este sistema se basa en las inspecciones realizadas mensualmente con el explosímetro, además del monitoreo diario del volumen de CO₂ de los tanques del sistema de extensión de incendio de la laminadora. En el caso de Alice Neumáticos de Venezuela C.A., igualmente se realizan inspecciones, y la verificación de los cilindros de CO₂ se realiza con un medidor de presión. Finalmente, para la Planta de Autobuses de Venezuela S.A. también se considera de importancia el uso de un detector de gases para la prevención de accidentes laborales. Todas estas empresas presentan sistemas de alarmas de acuerdo a las características de sus procesos.

4.2 Fase II. Establecimiento de los niveles de emisión de dióxido de carbono CO₂ y gas natural GN permitidos por los organismos regulatorios de emanación de estos gases para la disminución del impacto ambiental.

Seguidamente, en la fase II se recopiló mediante revisión bibliográfica, la información en relación a los niveles de emisión de CO₂ y GN permitidos por las normativas vigentes. Haciendo una diferenciación entre los niveles de seguridad del gas natural como gas combustible, ya que este tiene concentraciones que suponen un riesgo a posibles combustiones que pueden generar todos los accidentes planteados anteriormente, estos niveles son necesarios para la programación de la tarjeta de adquisición de datos; ya que, ante estos es que la tarjeta efectuará una u otra determinada salida, es decir, la presencia de alarmas o la ausencia de ellas, entre otras respuestas. Por otro lado, se tienen las concentraciones permitidas tanto del GN como del CO₂ con fin ambiental, de manera que se controlen las emisiones de ambos gases para reducir o, en su defecto, no aumentar el impacto ambiental supuesto por este tipo de industrias.

4.2.1 Niveles de seguridad por GN como combustible

El metano es el alcano de un carbono, el principal componente del gas natural (aproximadamente 95%) y se utiliza como fuente de combustible común en muchos tipos de aplicaciones. De acuerdo a Moore (2020), dado que los gases no pueden proceder a la combustión sin suficiente oxígeno, el nivel de oxígeno de un espacio confinado le puede dar una idea de la concentración de los gases combustibles. Hay dos niveles a los que debe prestar atención al medir los gases combustibles.

- **Límite inferior de explosividad (LEL):** es la concentración más baja de un gas en el aire que puede causar una combustión o generar una llama al combinarse con una fuente de ignición.
- **Límite superior de explosividad (UEL):** es la concentración más alta de un gas en el aire que puede causar una combustión o generar una llama al combinarse con una fuente de ignición.

En el caso del metano, el LEL es de 50.000 ppm y el UEL de 150.000 ppm. De esta manera, si la concentración de un gas es inferior a su LEL, no puede encenderse y el espacio confinado se considera seguro. Si la concentración de un gas es superior a su UEL, el gas es demasiado abundante y no hay oxígeno suficiente para la combustión.

Example of Combustion

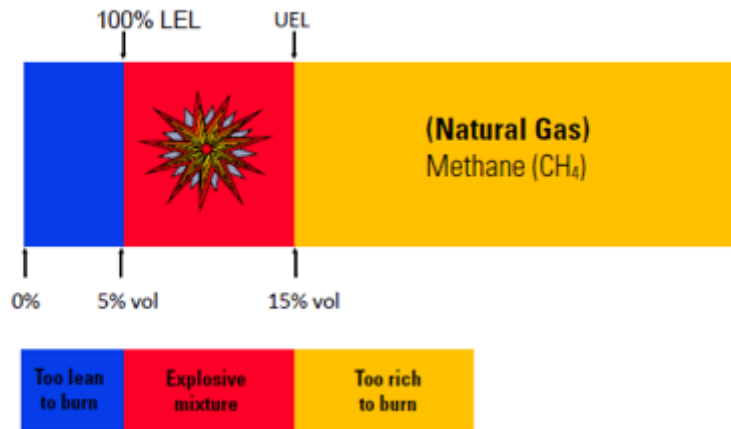


Figura 13. Niveles de combustión del gas natural.
Fuente: Moore (2020).

4.2.2 Niveles de seguridad del CO₂ por intoxicación

El dióxido de carbono es producido por todos los organismos aeróbicos a través del proceso respiratorio. Es un material industrial versátil que se utiliza en muchos procesos y productos diferentes. Sin embargo, el CO₂ es un gas asfixiante y ligeramente tóxico. A continuación, se presenta la Tabla 5, la cual presenta los distintos efectos sobre la salud que generan distintas concentraciones de dióxido de carbono en partículas por millón (ppm) y % por volumen.

Tabla 5. Concentraciones de CO₂ y sus efectos sobre la salud.

CO ₂ ppm y % por volumen	Efectos sobre la salud y síntomas.
350–450 ppm (0,035 – 0,045%)	Aire exterior fresco.
400–1,000 ppm (0,04 – 0,1%)	Espacios interiores ocupados con buen intercambio de aire.
1,000–2,000 ppm (0,1 – 0,2%)	Quejas de somnolencia y falta de aire.
2,000–5,000 ppm (0,2 – 0,5%)	Dolores de cabeza y somnolencia permitidos; aire estancado, viciado y congestionado. Poca concentración, pérdida de atención, aumento de la frecuencia cardíaca y límite de exposición (PEL): 5,000 en promedio / 8 horas. puede haber náuseas leves.

>5,000 ppm (0.5%) promedio/8 horas.	Esto indica condiciones de aire inusuales donde también podrían estar presentes altos niveles de otros gases. Podría producirse toxicidad o privación de oxígeno. Este es el límite de exposición permisible (PEL) para exposiciones diarias en el lugar de trabajo.
30,000 ppm (3%)	Límite de exposición a corto plazo (STEL): 15 min. Estimulación respiratoria moderada, aumento de la frecuencia cardíaca y la presión arterial.
>40,000 ppm (4%)	Inmediatamente peligroso para la vida o la salud (IDLH). La exposición puede provocar una grave privación de oxígeno que resulte en daño cerebral permanente, coma o la muerte.
50,000 ppm (5%)	Estimulación respiratoria fuerte, mareos, confusión, dolor de cabeza y dificultad para respirar.
80.000 ppm (8%)	Visión atenuada, sudoración, temblores, pérdida del conocimiento y posible muerte.

Fuente: Siafa (s.f).

Elaborado por: Reyes (2023).

4.2.3 Norma venezolana concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición COVENIN 2253:2001.

Establece las concentraciones ambientales permisibles (CAP) de sustancias químicas en los lugares de trabajo, bien sea polvos, gases, vapores o humos que debido a sus propiedades o a las características del proceso, pasan al ambiente de trabajo y representan las condiciones bajo las cuales se acepta que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos a su salud. Además, en esta norma se presentan los Límites de Exposición Breve (LEB), lo cual es la concentración a la que un individuo puede estar expuesto durante máximo 15 minutos sin sufrir ciertas repercusiones en la salud (Ver Tabla 2). En dicha

tabla se puede observar que el CAP para el gas licuado de petróleo y el dióxido de carbono, es de 1000 ppm y 5000 ppm respectivamente.

4.3 Fase III. Determinación de los componentes de la tarjeta de adquisición de datos para la medición y generación de alarmas en los niveles de dióxido de carbono CO₂ y gas natural GN.

Posteriormente, la fase III se centró en recabar información sobre los componentes propios de una tarjeta de adquisición de datos, así como también sobre los sensores a utilizar tanto para la medición del GN y del CO₂, como para efectuar correcciones en las medidas realizadas por estos. Todo esto sabiendo los procesos sobre la teoría de adquisición de datos, es decir, desde la obtención de la señal, hasta su acondicionamiento para un correcto procesamiento por parte del microcontrolador integrado en la placa Arduino, y su posterior transmisión. Esta última, al ser inalámbrica requiere de un módulo adicional a la placa Arduino para lograr la comunicación vía Wi-Fi y Bluetooth. De igual forma, es necesario especificar los componentes para la generación de alarmas, tanto visual, como sonora.

4.3.1 Arduino UNO

La tarjeta de adquisición de datos debe ser capaz de recibir señales analógicas provenientes de los sensores de detección de gases, de manera que se puedan procesar y visualizar los niveles de concentración de los mismos para poder emitir las salidas digitales correspondientes, entre las cuales están el LCD de 16x2, los leds indicadores de nivel de seguridad y el buzzer para alarmas. Es por esto, y por la facilidad de adquisición, que se escogió para la realización del proyecto la placa de desarrollo de Arduino UNO la cual incluye el microprocesador ATmega328P. A continuación en la Tabla 6 se muestra la matriz FODA correspondiente al Arduino en donde se evidencian las fortalezas y oportunidades por las cuales fue escogido, así como las debilidades y amenazas a tomar en cuenta.

Tabla 6. Matriz FODA asociada al Arduino UNO.

FORTALEZA	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Es una placa de hardware libre y de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • La comunidad del hardware abierto y de bajo costo está en constante evolución, creando nuevas tecnologías

<ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con una gran cantidad de documentación y recursos en línea, lo que facilita su aprendizaje y uso. • Es compatible con una amplia variedad de sensores, actuadores y otros componentes electrónicos. • Es muy versátil y se puede utilizar en una amplia variedad de proyectos, desde automatización del hogar hasta robótica. 	<p>y componentes disponibles para utilizar con Arduino.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La creciente popularidad de proyectos de IoT (Internet de las cosas) y la necesidad de soluciones de automatización inteligentes. • La comunidad de usuarios del Arduino UNO es muy grande y diversa, de manera que se puede colaborar en proyectos y aprender de otros usuarios.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • El Arduino UNO tiene limitaciones en cuanto a la cantidad de entradas y salidas digitales y analógicas que puede manejar. • La capacidad de procesamiento y memoria es limitada en comparación con otras placas más potentes, lo que puede ser un problema en proyectos que requieren un alto rendimiento o procesamiento de datos. • Falta de protección contra sobretensiones y cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • La competencia de otras placas de desarrollo, como Raspberry Pi. • La disponibilidad y el costo de los componentes electrónicos. • La falta de un soporte oficial para el desarrollo de software y hardware puede ser una amenaza para los usuarios menos experimentados, ya que pueden encontrar dificultades para solucionar problemas o encontrar información relevante en línea.

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

De esta manera, es conveniente detallar cuales son las características de dicha placa, cuyo modelo se puede visualizar en la Figura 14. De acuerdo a los colaboradores de Wikipedia, el Arduino Uno es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P. Además, la placa está equipada con conjuntos de pines de entradas y salidas digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. Los pines son programables con el Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) a través de un cable

USB tipo B.3 y puede ser alimentado por el cable USB o por una batería externa de 9 voltios, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 voltios. Entre sus otras características técnicas más resaltantes están:

- Pines digitales. Estos pines están numerados en un rango de 0 hasta 13. Pueden tener una entrada o salida de 0V o 5V.
- Pines analógicos. Está conformado por los pines desde A0 hasta la A5 pueden ser utilizado como entrada o como salida.
- Memoria Flash: 32 KB de los cuales 0.5 KB utilizados por el gestor de arranque
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad del reloj: 16 MHz



Figura 14. Placa de desarrollo Arduino UNO a utilizar en la tarjeta.
Fuente: Reyes (2023).

4.3.2 Sensor MQ-5

Para poder detectar las fugas y emisiones de los gases CO₂ y GN son necesarios sensores capacitados para tal fin, específicamente para el gas natural se tienen gran variedad de sensores utilizados a nivel industrial; sin embargo, por compatibilidad con la tarjeta de desarrollo a utilizar, se escogieron los modelos MQ, los cuales pueden ser utilizados con Arduino para la realización de distintos proyectos, midiendo concentraciones de diversos gases, tales como alcohol, monóxido

de carbono (CO), dióxido de carbono o, en este caso, gas natural. Específicamente para este gas se pueden utilizar tres modelos de los sensores MQ, el MQ-2 que es sensible al metano, alcohol, CO, el MQ-5 que es sensible al metano, gas natural, alcohol, gas licuado de petróleo (GLP) y el MQ-7 sensible al CO, GLP, metano y alcohol. Entre estos tres modelos se escogió el MQ-5 (Ver Figura 15) al ser sensible a varios gases combustibles como lo son el GN y el GLP. Seguidamente se tiene la matriz FODA correspondiente a este componente. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Matriz FODA asociada al sensor MQ-5.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • El sensor MQ-5 es un sensor de gas económico y fácil de usar • Puede detectar una variedad de gases combustibles como el gas natural, GLP, propano, butano, metano, alcohol, hidrógeno y humo. • Sensibilidad alta y respuesta rápida a los cambios en la concentración de gas. • Es compatible con una amplia variedad de placas de desarrollo, incluyendo Arduino y Raspberry Pi. • El sensor MQ-5 es de tamaño pequeño y ligero. 	<ul style="list-style-type: none"> • La creciente demanda de sistemas de monitoreo de calidad del aire y seguridad de viviendas y edificios, • Necesidad de monitoreo de emisiones de gases en la industria. • La compatibilidad del sensor con una amplia variedad de placas de desarrollo y la disponibilidad de bibliotecas y recursos en línea. • La capacidad para detectar múltiples gases combustibles.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser susceptible a interferencias de otros gases, lo que puede afectar su precisión en entornos con gases múltiples. • Puede ser afectado por fluctuaciones de temperatura y humedad, lo que puede 	<ul style="list-style-type: none"> • La competencia de otros sensores de gas similares, como el sensor MQ-7. • La disponibilidad y el costo de los componentes electrónicos.

afectar su precisión en entornos cambiantes.

- Requiere una calibración y mantenimiento periódico para mantener su precisión y fiabilidad.

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).



Figura 15. Sensor MQ-5 a utilizar en la tarjeta para medir GN.

Fuente: Reyes (2023).

De acuerdo a la página web Tostatronic, este sensor es un dispositivo con alta sensibilidad y con un tiempo de respuesta rápido en cuanto detecte el gas, en la Figura 6 se puede observar las curvas de sensibilidad para cada gas en su rango de medición. Asimismo, su salida es a través de una terminal, siendo una señal de voltaje analógico variable con respecto a la magnitud medida. Su alimentación recomendada es a 5 V. Entre otras de sus características están:

- La señal de salida TTL es baja. (Cuando la luz de señal de salida baja, y se puede conectar directamente al microcontrolador).
- 0 ~ 5V voltaje de salida análogo, más alta es la concentración, más alto el voltaje.
- Potencia de consumo: <950mW.
- Tiempo de precalentamiento: más de 24 horas.

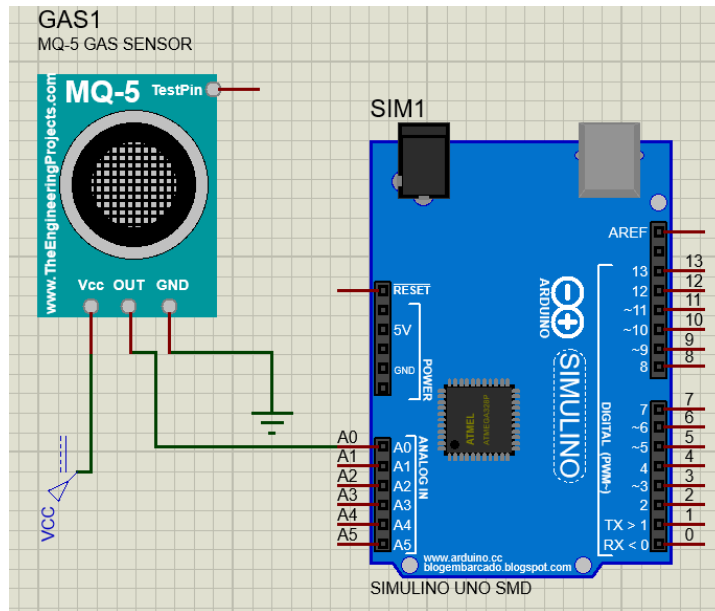


Figura 16. Esquema de conexión sensor MQ-5 al Arduino.
Fuente: Reyes (2023).

4.3.3 Sensor MQ-135

Por otro lado, para la medición del CO₂ fue necesaria la adquisición de otro módulo de sensores MQ para mantener la compatibilidad con la placa, ya que el MQ-5 por sí solo no es sensible a este gas; el modelo escogido fue el MQ-135 (Ver Figura 17), sensor de calidad de aire, el cual es capaz de detectar alcohol, humo, dióxido de carbono, benceno y amoníaco. En la Tabla 8 se presenta la matriz FODA que permitió la elección de este componente.

Tabla 8. Matriz FODA asociada al sensor MQ-135.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • El sensor MQ-135 es un sensor de gas económico y fácil de usar para medir la calidad de aire, detectando alcohol, humo, dióxido de carbono, benceno y amoníaco. • Alta sensibilidad y una respuesta rápida a los cambios en la concentración de gas. 	<ul style="list-style-type: none"> • La preocupación por la calidad del aire y la seguridad en interiores. • La necesidad de monitorear la contaminación atmosférica en zonas urbanas. • Como es el caso del MQ-5, la compatibilidad del sensor con una amplia variedad de placas de desarrollo

<ul style="list-style-type: none"> • Es compatible con una amplia variedad de placas de desarrollo, incluyendo Arduino y Raspberry Pi. • El sensor MQ-135 es de tamaño pequeño y ligero. 	<p>y la disponibilidad de bibliotecas y recursos en línea.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La capacidad del sensor para detectar múltiples gases tóxicos.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Al igual que el MQ-5, el sensor MQ-135 puede ser susceptible a interferencias de otros gases. • Puede ser afectado por fluctuaciones de temperatura y humedad. • Igualmente requiere una calibración y mantenimiento periódico para mantener su precisión y fiabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • La competencia de otros sensores de gas similares, como el sensor MQ-7 o el sensor MQ-2. • La disponibilidad y el costo de los componentes electrónicos.

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

En cuanto a las especificaciones del MQ-135, Altronics (s.f) afirma que este sensor es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, por lo general es implementado en circuitos de control como alarmas en las casas, sitios donde se desea prevenir altos niveles de contaminación a nivel aeróbico como industrias que manejan compuestos químicos que pueden ser nocivos también para la salud. Asimismo, el MQ-135 se encarga de la detección de concentración de gas en diversos porcentajes con salidas analógica (directamente proporcional al incremento de voltaje) y digital (con niveles TTL). Las curvas de sensibilidad para cada gas en su rango de medición se pueden observar en la Figura 7. Entre sus principales características según la hoja de datos destacan:

- Voltaje de operación: 5V DC.
- Potencia de consumo: <800mW.
- Tiempo de precalentamiento: Más de 24 horas.
- Detección de partes por millón: 10ppm~1000ppm (Benceno), 10ppm~300ppm (Amoníaco), 10ppm~300ppm (Alcohol).

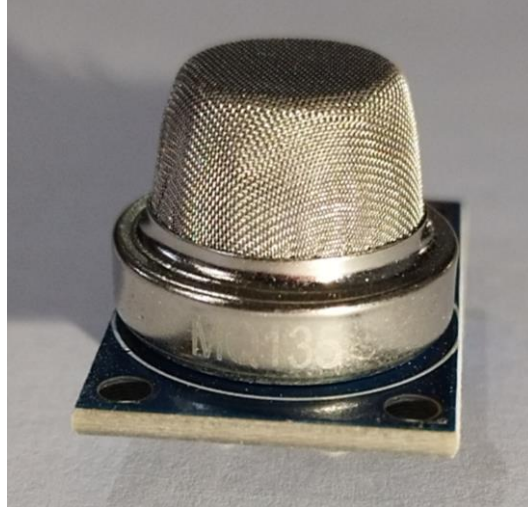


Figura 17. Sensor MQ-135 a utilizar en la tarjeta para medir CO₂.
Fuente: Reyes (2023).

4.3.4 DHT11

La lectura de los sensores MQ está influenciada por la variación de la humedad y la temperatura en el ambiente, es por esto que se requiere de un sensor de temperatura y humedad, cuya lectura permita realizar las debidas correcciones en los valores de concentración leídos por los sensores MQ. Por compatibilidad con la placa de desarrollo Arduino existen diversos sensores de humedad y temperatura; no obstante, entre los más conocidos están el DHT11, el DHT22 y el DHT21. Los dos últimos ofrecen mayor precisión en las lecturas; sin embargo, para efectos del prototipo el DHT11 (Ver Figura 18) es suficiente para lograr corregir las lecturas de los sensores de gas. En la Tabla 9 se encuentran las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de este sensor frente a los otros existentes en el mercado.

Tabla 9. Matriz FODA asociada al sensor DHT11.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> El sensor DHT11 es compatible con distintas placas de desarrollo como Arduino y Raspberry Pi. 	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de monitorear la temperatura y humedad en interiores y en aplicaciones industriales. La compatibilidad del sensor con distintas placas de desarrollo, con alta

<ul style="list-style-type: none"> • El sensor DHT11 es un sensor de temperatura y humedad económico y fácil de usar. • Es muy pequeño y ligero. • Sensibilidad alta y una respuesta rápida a los cambios en la temperatura y la humedad. 	<p>creación de bibliotecas y recursos en línea.</p>
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • El sensor DHT11 puede ser susceptible a interferencias de otros equipos electrónicos y la variación en la posición del sensor. • El sensor DHT11 tiene una precisión limitada. • El sensor DHT11 no es resistente al agua y no se debe utilizar en entornos húmedos o en contacto con líquidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • La competencia de otros sensores de temperatura y humedad, como el sensor DHT22 o el sensor BME280. • La disponibilidad y el costo de los componentes electrónicos.

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

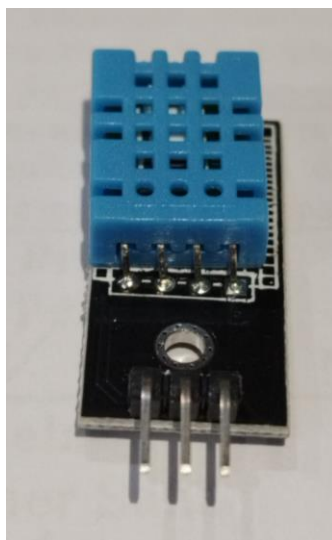


Figura 18. Sensor DHT11 a utilizar en la tarjeta.

Fuente: Reyes (2023).

De acuerdo a la tienda online “*Naylamp Mechatronics*” (2021), el DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa que integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos; es decir, no posee salida analógica. Para utilizar el sensor DHT11, en cuanto al hardware solo es necesario conectar el pin VCC a una alimentación de entre 3V y 5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital, en este caso, de la placa Arduino. Como desventaja del sensor se tiene que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. En la Figura 19 se puede visualizar el esquema de montaje del sensor, al cual debe agregarse una resistencia de pull-up de 4.7 k Ω en el pin de datos. A continuación, se presentan las especificaciones técnicas:

- Voltaje de Operación: 3V - 5V DC
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Precisión de medición de humedad: 5% RH.
- Resolución Humedad: 1% RH
- Período de sensado: 2 seg.
- Interface digital: Single-bus (bidireccional)

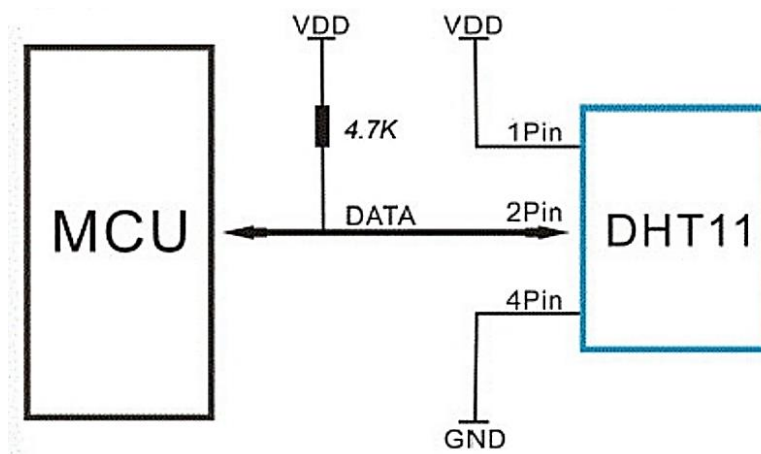


Figura 19. Montaje del sensor DHT11 con el microcontrolador.
Fuente: Hoja de datos, *Sunrom Technologies* (2012).

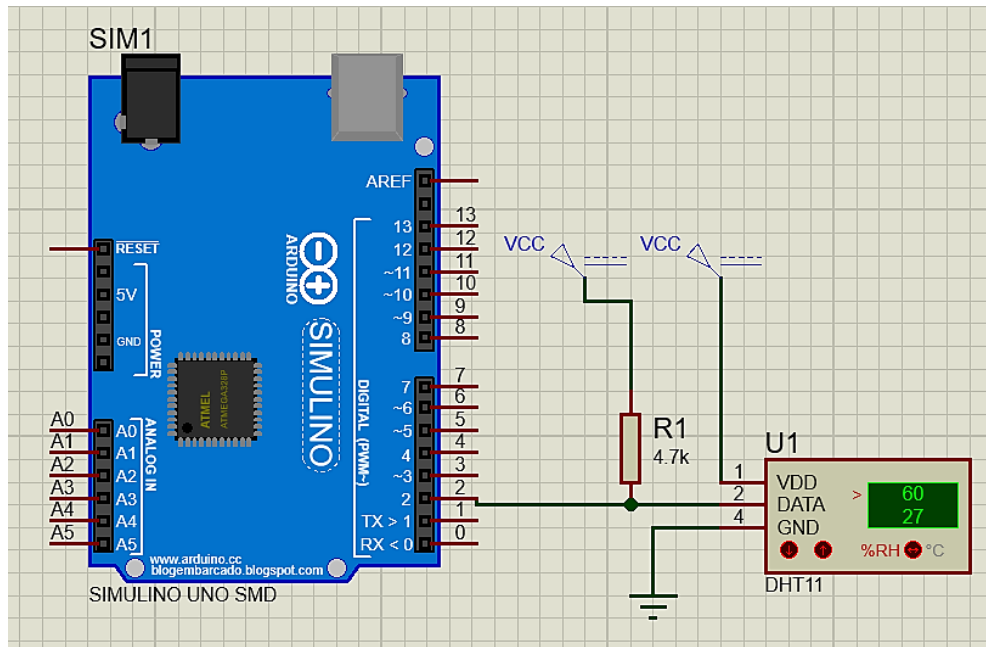


Figura 20. Esquema de montaje del sensor DHT11 al Arduino.
Fuente: Reyes (2023).

4.3.5 Liquid Cristal Display (LCD)

Al ser una parte del diseño del prototipo pensado para que este sea portátil, se encuentra la necesidad de adicionar un dispositivo a través del cual el usuario sea capaz de visualizar las mediciones realizadas por la tarjeta, así como los mensajes de alarmas emitidos, ya que no podrán ser visualizados por la interfaz gráfica al no estar cerca de una computadora.

Una pantalla de cristal líquido es una pantalla delgada y plana conformada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. La pantalla a utilizar es una LCD I2C, tecnología que permite reducir la cantidad de conexiones para la transmisión de datos del Arduino a la LCD, ya que comúnmente la LCD requiere doce conexiones para poder funcionar, mientras que con la tecnología I2C se requieren únicamente cuatro (Ver Figura 21). Entre sus principales especificaciones se tienen:

- Tensión de funcionamiento: 5 V
- Controlador: LCD Hitachi HD44780, maneja código ASCII
- Dirección por defecto: 0x27
- Resolución de la pantalla: 2 líneas \times 16 caracteres
- Resolución del carácter: 5 \times 8 píxeles

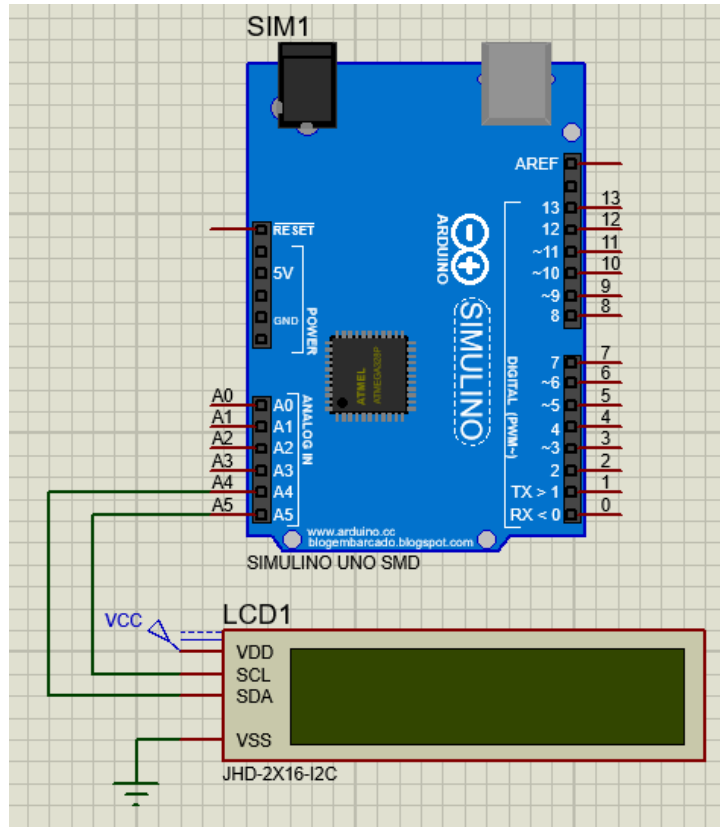


Figura 21. Esquema de conexión LCD I2C al Arduino.
Fuente: Reyes (2023).

4.3.6 Leds

Según Papiewski (2017), los diodos emisores de luz (LED) son dispositivos electrónicos comunes utilizados para los indicadores de encendido y apagado, displays numéricos y de iluminación de alta eficiencia.

En tal sentido, otra forma de visualizar los niveles de concentración de gases de manera más intuitiva es clasificar los niveles por peligrosidad con un código de colores. En el caso de la presente investigación, las concentraciones serán divididas en tres niveles: el nivel seguro que corresponde a un Led verde, el nivel de concentración sospechosa correspondiente a un Led amarillo y; por último, un Led rojo para el nivel de concentración peligrosa. De esta manera, se puede observar de manera más directa si el aire del ambiente está contaminado con estos gases o no.

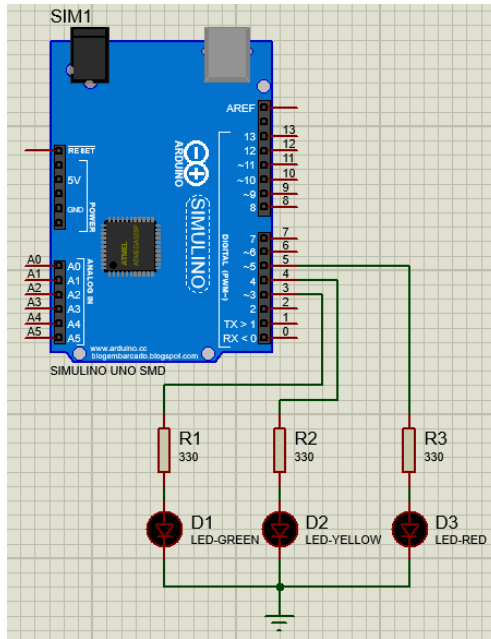


Figura 22. Esquema de montaje de los LED's al Arduino.
Fuente: Reyes (2023).

4.3.7 Buzzer pasivo

A pesar de tener hasta el momento dos medios para transmitir alarmas visuales, la pantalla LCD y los Leds, es muy probable que el usuario no siempre esté haciendo contacto visual con estos elementos, es por esto que es necesario incorporar una alarma sonora que, al igual que los Leds, trabaja en los mismos tres niveles: seguro, sospechoso y peligroso. A diferencia que el buzzer está programado para emitir determinados sonidos en los niveles sospechoso y peligroso.

De acuerdo al sitio Web “El Octavo Bit” (2021), “el zumbador o buzzer es un dispositivo electrónico que actúa como un transductor. Su función es producir un sonido agudo o zumbido mientras se le está suministrando corriente”. Existen dos tipos de buzzer, los pasivos y los activos; a continuación, en la Tabla 10 se presentan las diferencias entre ellos.

Tabla 10. Diferencias entre los buzzers activos y los pasivos.

BUZZER ACTIVO	BUZZER PASIVO
Oscilador Interno	Sin oscilador interno.

Cuentan con una generación de tono.	Requiere de circuitos externos o señales enviadas desde una tarjeta para generación de tono.
Frecuencia fija	Reproduce tonos que le son programados.

Fuente: Página Web “El Octavo Bit” (2021).
Elaborado por: Reyes (2023).

El tipo de buzzer a utilizar en la investigación es el pasivo ya que los tonos pueden ser programados de distintas formas. En la Figura 23 se puede observar el esquema de montaje de este componente al Arduino.

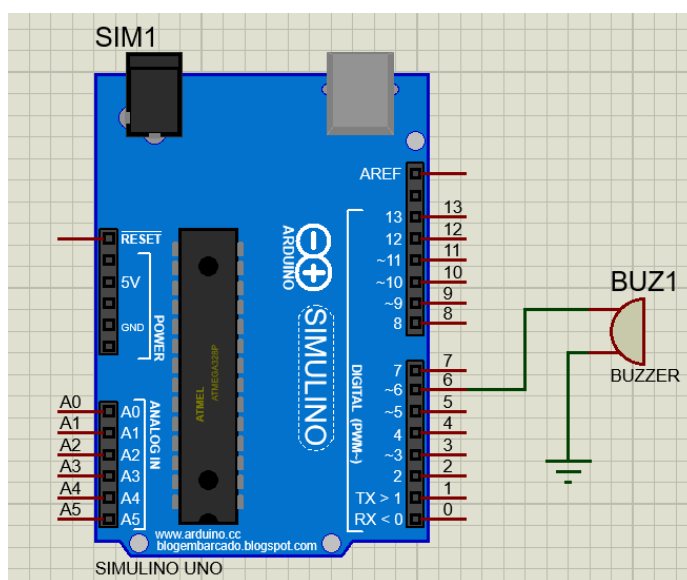


Figura 23. Esquema de conexión del buzzer pasivo al Arduino.

Fuente: Reyes (2023).

Una vez seleccionados todos los componentes, definido las características más importantes de cada uno y su esquema de montaje, se presenta a continuación en la Tabla 11, un resumen de cada uno de ellos. Especificando aspectos como la alimentación que requieren, su conexión al Arduino UNO y las características más relevantes.

Tabla 11. Resumen de los componentes de la tarjeta de adquisición de datos.

COMPONENTE	ALIMENTACIÓN	PINES AL ARDUINO	CARACTERÍSTICAS
------------	--------------	------------------	-----------------

Arduino UNO	Cable USB tipo B.3, batería externa de 9V, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 V DC	-	- 14 pines digitales con entrada o salida de 0V o 5V. - 6 pines analógicos. - Memoria Flash: 32 KB. - EEPROM: 1 KB.
MQ-5	5V±0.1	A0	- 0 ~ 5V voltaje de salida análogo. - Potencia de consumo: <950mW. - Tiempo de precalentamiento: más de 24 horas. - Rango de medición: (200-10000) ppm
MQ-135	5V±0.1	A1	- 0 ~ 5V voltaje de salida análogo. - Potencia de consumo: <800mW. - Tiempo de precalentamiento: Más de 24 horas. - Detección de partes por millón: 10 ppm~1000ppm (Benceno), 10ppm~300ppm (Amoníaco), 10ppm~300ppm (Alcohol).
DHT11	3V - 5V DC	2	- Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C - Precisión de medición de temperatura: ±2.0 °C - Resolución Temperatura: 0.1°C - Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH. - Precisión de medición de humedad: 5% RH. - Resolución Humedad: 1% RH - Período de sensado: 2 seg.
LCD 16x2	5V	A4, A5	- Controlador: LCD Hitachi HD44780, maneja código ASCII - Dirección por defecto: 0x27 - Resolución de la pantalla: 2 líneas × 16 caracteres - Resolución del carácter: 5 × 8 píxeles
Leds	5V	3, 4, 5	-
Buzzer pasivo	5V	6	- Sin oscilador interno.

			<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de circuitos externos o señales enviadas desde una tarjeta para generación de tono. - Reproduce tonos que le son programados.
--	--	--	---

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

4.4 Fase IV. Diseño de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino con estilos fijo y portátil.

Posterior a la determinación de los componentes a utilizar y de identificar los límites que registrarán la activación o no de alarmas, se realizó el diseño de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino, utilizando el software propio de este último, el cual utiliza el lenguaje de programación C++. En esta tarjeta de desarrollo se programaron diversos elementos tales como los sensores MQ-5 y MQ-135, la linealización de su salida, el sensor DHT11 que permite corregir sus mediciones, la activación de las alarmas visuales y sonoras en los pines digitales de la tarjeta. Por otro lado, en cuanto a la parte física, se organizaron todos los elementos conectados a la tarjeta de adquisición de datos para lograr un prototipo que sea transportable de manera cómoda y sencilla. En la Figura 24 se puede visualizar el diagrama de flujo correspondiente al funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino elaborado con la página web para el desarrollo de diagramas “*Lucidchart*”.

4.4.1 Calibración de los sensores

Los sensores MQ están compuestos por un sensor electro-químico que varía su resistencia al estar en contacto con las sustancias a las que es sensible. En la Figura 25 se puede observar el circuito asociado al sensor por sí solo donde se tiene la resistencia que varía con el efecto electro-químico y su salida analógica, mientras que en la Figura 26 se encuentra el esquema del módulo en donde además de la salida analógica, se integra la lógica de la salida digital, dada por un amplificador operacional LM393, que es un amplificador operacional de bajo voltaje y baja potencia que puede ser impulsado por un suministro de +5V. La función de este amplificador es convertir una señal analógica de entrada en una señal digital. Asimismo, el módulo del sensor de gas MQ-5 tiene un potenciómetro de 10K integrado para ajustar la sensibilidad del voltaje de activación.

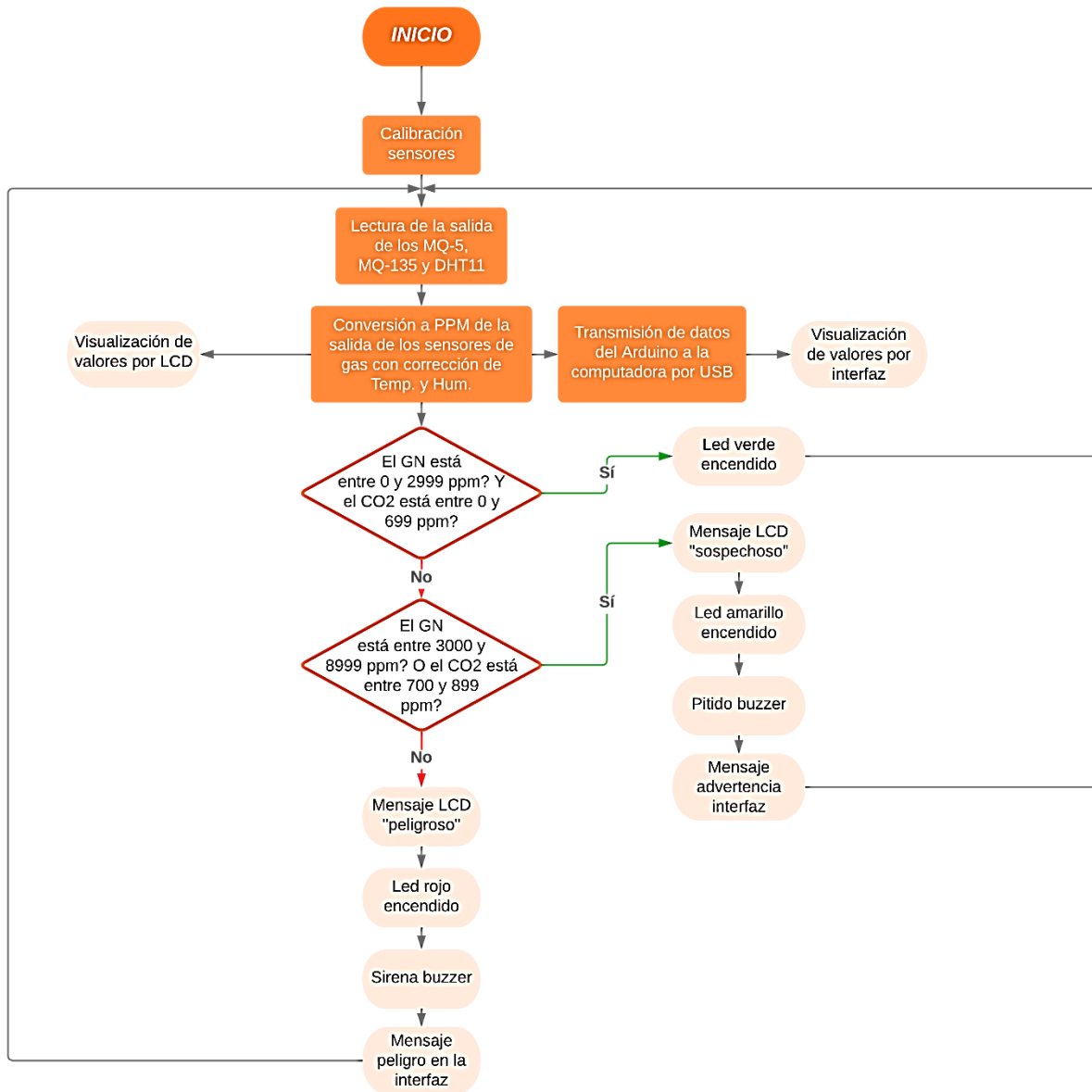


Figura 24. Diagrama de flujo del funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos.
Fuente: Reyes (2023).

Cabe mencionar, que en este módulo se encuentran dos LED; el LED de encendido cuando la placa está conectada a la alimentación y el LED de activación que se enciende cuando se alcanza un umbral predefinido. Finalmente, la placa tiene dos condensadores de desacoplamiento que ayudan a reducir el ruido.

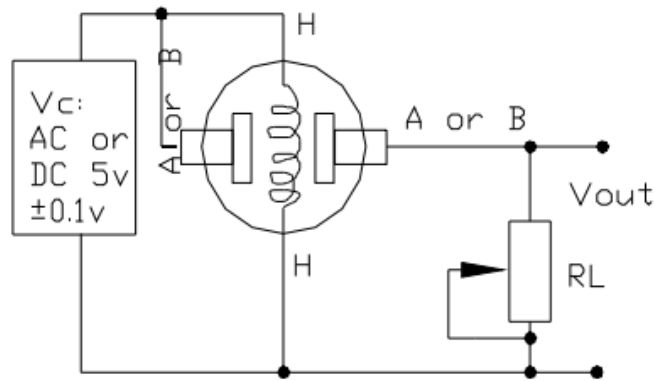


Figura 25. Circuito de medida de parámetros eléctricos del MQ-5 y MQ-135.

Fuente: Hoja de datos, *Hanwei Electronics CO* (s.f.).

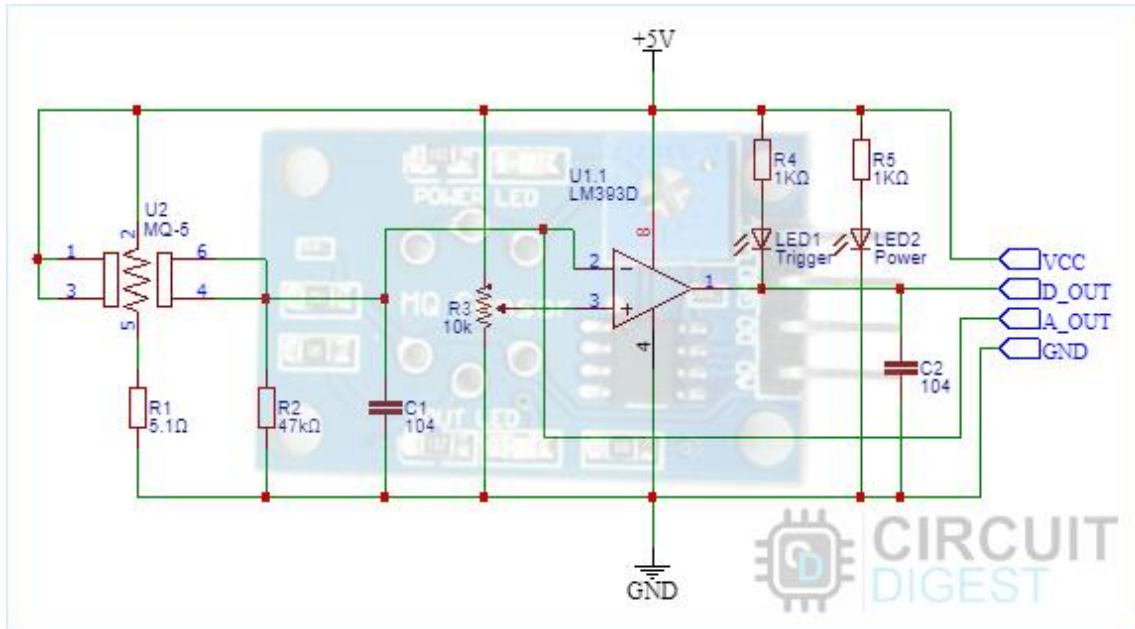


Figura 26. Esquema interno del módulo sensor MQ-5 y MQ-135.

Fuente: Harshil Patel (2022).

Para comenzar el proceso de lectura de los sensores es necesario calcular todos los parámetros que lo permitan. Como se puede observar en la Figura 6 y en la Figura 7, las curvas de sensibilidad de los sensores MQ-5 y MQ-135 presentan dos variables indispensables, la variable independiente es la concentración de los gases a medir con unidad en partículas por millón (ppm), mientras que la variable dependiente localizada en el eje “y” es el cociente de dos resistencias R_s y R_o , en donde R_s es la resistencia del sensor a distintas concentraciones de gases y R_o es la resistencia del sensor

a 1000ppm de hidrógeno gaseoso (H_2) y 100ppm de nitrógeno amoniacal (NH_3) del MQ-5 y MQ-135 respectivamente, ambos en aire limpio a una temperatura de 20 °C y humedad de 65%.

De esta manera, se puede observar que es necesario el cálculo de la resistencia R_0 para cada uno de los sensores para poder obtener las mediciones de gas; asimismo, la curva al estar graficada en escala bilogarítmica indica que la relación entre las concentraciones de gases y el cociente R_s/R_0 es de tipo potencial; es decir, es de la forma $y = ax^b$. Por lo tanto, se requiere especificar los puntos de la curva para calcular la ecuación de la misma y así, poder determinar las concentraciones de los gases para una R_s determinada. Estos cálculos serán presentados en los apartados siguientes.

4.4.1.1 Pre calentamiento de los sensores

Cada modelo de los sensores MQ necesita su propia tensión para alimentar el calentador. En el caso del MQ-5 y el MQ-135 esta tensión es de 5V, pero algunos modelos tienen condicionantes especiales para la alimentación. Este calentador es necesario para elevar la temperatura del sensor, y que sus materiales adquieran la sensibilidad para realizar correctas lecturas. De manera que, mientras el calentador no alcance la temperatura de funcionamiento, la lectura del sensor no será fiable.

Este tiempo de calentamiento está definido para cada modelo en las hojas de datos del fabricante. En esta indica que el tiempo de calentamiento del MQ-5 es de más de 24 horas, al igual que para el MQ-135. De esta manera, se entiende que es necesario mantener a los sensores alimentados por este período de tiempo para eliminar, a su vez cualquier tipo de impureza o residuo que pudiera permanecer en el cuerpo del sensor desde su fabricación. El circuito de pre calentamiento se muestra en la Figura 27.

El consumo de estos sensores es elevado debido al calor necesario para hacer funcionar el calentador, llegando hasta 800 mW. Esto es superior a la potencia que puede suministrar el regulador de Arduino, por lo que es necesario proporcionar una fuente de alimentación externa.

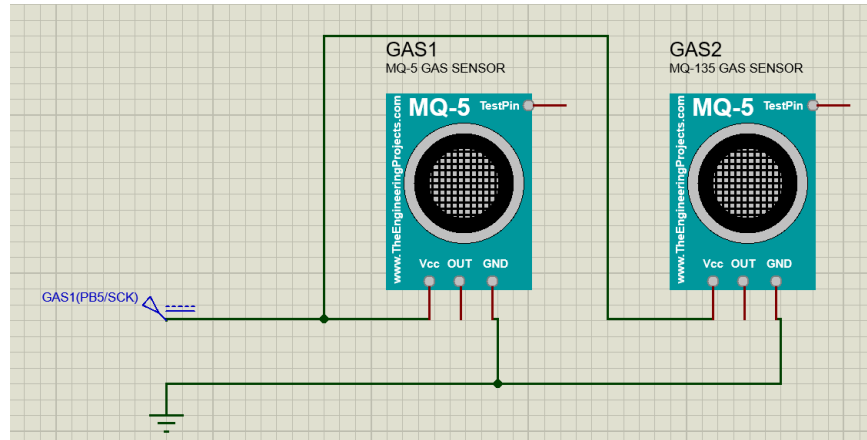


Figura 27. Circuito de precalentamiento de los sensores MQ.
Fuente: Reyes (2023).

4.4.1.2 Coordenadas de las curvas de sensibilidad

Como se mencionó anteriormente, para poder realizar la lectura de los sensores se requiere determinar la ecuación que rige el comportamiento de los mismos. De forma que es necesario determinar los puntos que conforman las curvas de los gases de interés de los sensores; sin embargo, a pesar de estar señaladas las dos coordenadas principales de la curva, el resto de puntos interiores no se pueden especificar fácilmente, obteniendo una medida inexacta. Para esto se utilizó la página web “*WebPlotDigitizer*”, la cual permite obtener los puntos de una gráfica cuando estos no se pueden definir de manera exacta.

Para obtener los puntos de la gráfica, se importa la imagen de la misma en la página para primero alinear los ejes, ingresando los valores (x,y) del origen y de los extremos (Ver Figura 28). Posteriormente, con el cursor se marcan todos los puntos notables de la curva de interés, particularmente los que tienen cruce con los ejes marcados en la gráfica (Ver Figura 29). Una vez hecho esto, se presiona el botón “*View Data*” y luego el botón “*Download .CVS*”; este último es un archivo en Excel donde se encuentran los pares ordenados de la curva. (Ver Figura 30)

Luego de obtener los puntos de las gráficas, los cuales se pueden observar tanto para el CH₄ como para el CO₂ en las Tablas 12 y 13 respectivamente; utilizando las herramientas de Excel, se graficaron dichos puntos, obteniendo una curva decreciente. Esto significa que, al aumentar la concentración de los gases, la relación R_s/R_o , se hace más pequeña, y al ser el valor de R_o fijo, se deduce que lo que disminuye es el valor de R_s . Estas gráficas se pueden visualizar en el Gráfico 1 para el MQ-5 y en el Gráfico 2 para el MQ-135.

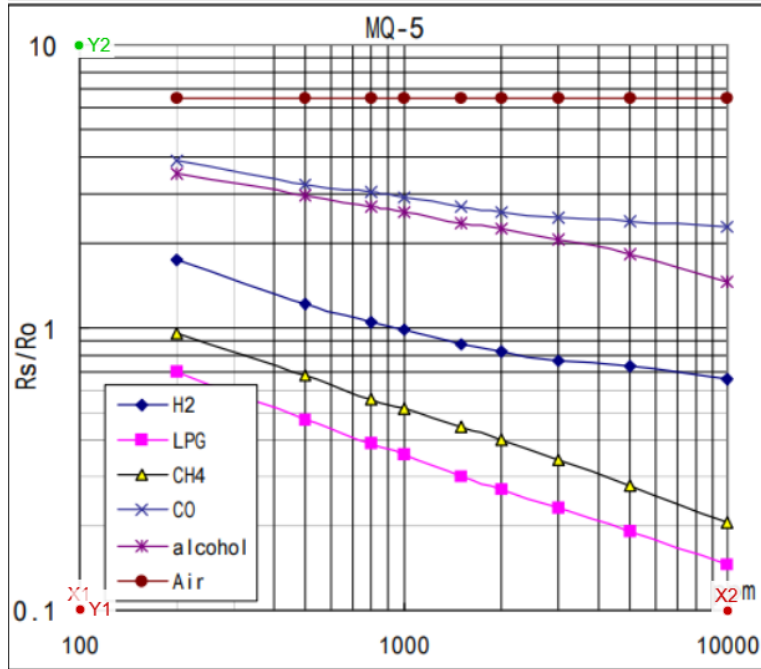


Figura 28. Definición de los ejes de la gráfica de sensibilidad.
Fuente: Reyes (2023).

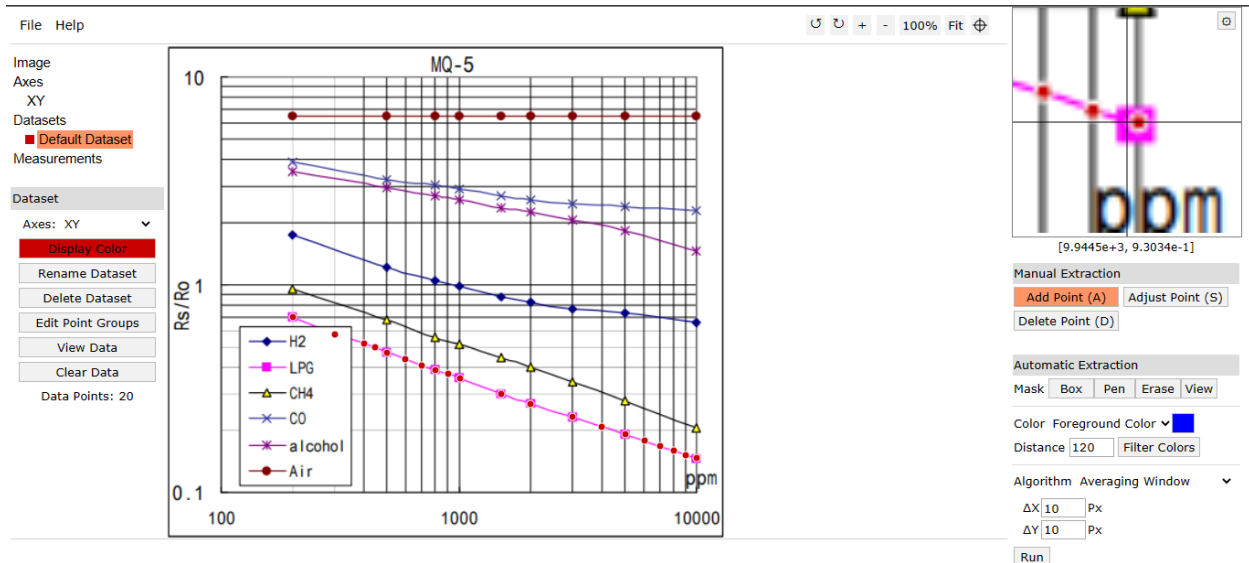


Figura 29. Selección de puntos de la curva de sensibilidad del gas.
Fuente: Reyes (2023).

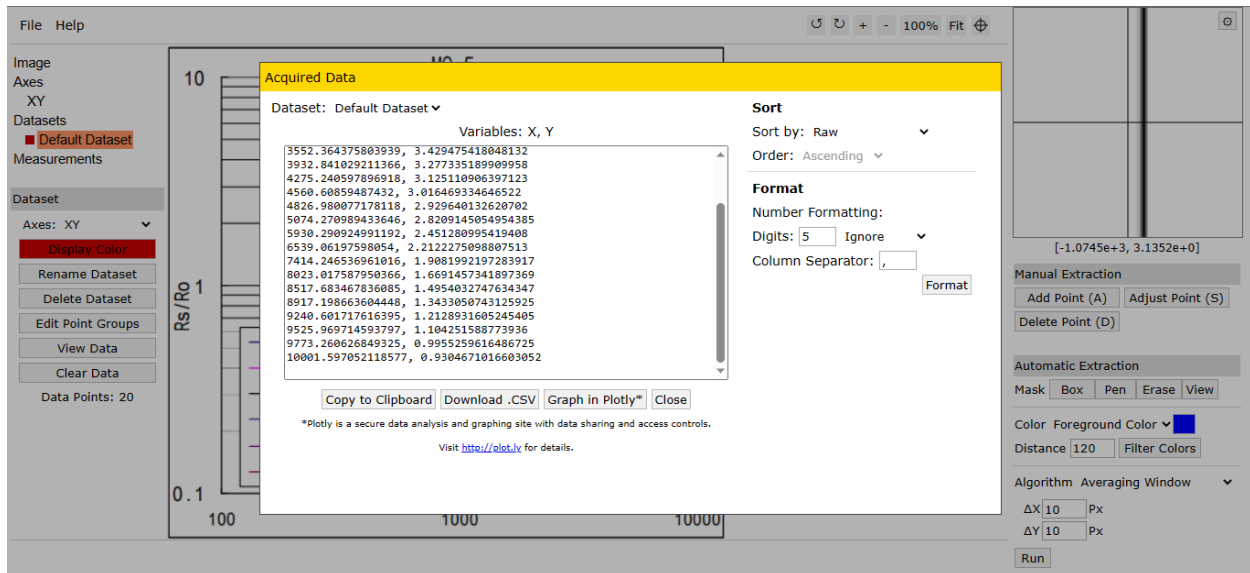


Figura 30. Descarga de los puntos de los puntos de la curva de sensibilidad del gas.

Fuente: Reyes (2023).

Tabla 12. Coordenadas de la curva de GN del sensor MQ-5.

CH₄

X(PPM)	Y(Rs/Ro)	X(PPM)	Y(Rs/Ro)	X(PPM)	Y(Rs/Ro)	X(PPM)	Y(Rs/Ro)
200,7	0,95548	497,82	0,67728	1010,2	0,51533	5008,8	0,27794
236,8	0,89918	599,44	0,63096	1113,4	0,49992	5978,3	0,25633
300,68	0,82089	666,57	0,60592	1517,4	0,44275	7010,1	0,24122
322,72	0,80444	690,59	0,5878	1996,2	0,40013	8005,1	0,22472
399,05	0,74187	795,58	0,5588	2998,6	0,3403	8980,5	0,21581
447,68	0,70526	892,53	0,53662	3979,6	0,30755	9986,6	0,20309

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

En el Gráfico 1 presentado a continuación se muestra la ecuación asociada al comportamiento del sensor para distintas concentraciones de GN (en su mayor parte CH₄), dicha ecuación es de la forma $y = 7.6979x^{-0.391}$, colocándola con las variables del proceso, la ecuación sería como sigue:

$$\left(\frac{R_s}{R_o}\right) = 7.6979(\text{Concentración en ppm})^{-0.391} \quad (2)$$

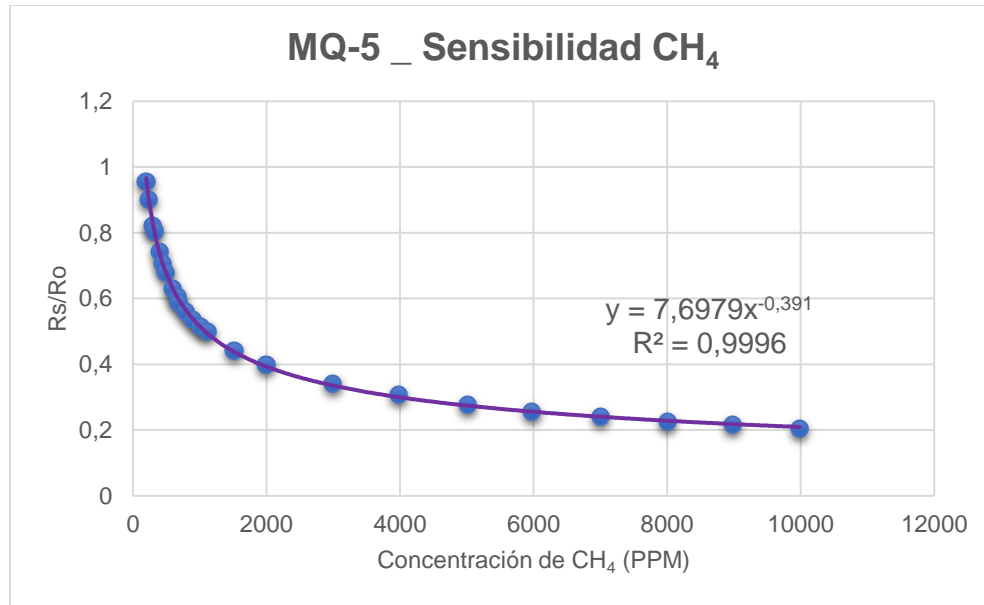


Gráfico 1. Curva de sensibilidad del MQ-5 para el GN.
Fuente: Reyes (2023).

Tabla 13. Coordenadas de la curva de CO₂ del sensor MQ-135.

CO₂

X(PPM)	Y(Rs/Ro)	X(PPM)	Y(Rs/Ro)	X(PPM)	Y(Rs/Ro)
9,9726	2,3186	50,2760	1,3369	101,3200	1,0513
14,7190	2,0153	59,7730	1,2589	114,3600	1,0101
20,0970	1,8233	69,8440	1,1975	148,2400	0,9047
29,9190	1,5849	80,2120	1,1390	200,6600	0,8104
39,8030	1,4339	89,7580	1,0834		

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

Por otro lado, en el Gráfico 2 presentado a continuación se muestra la ecuación asociada al comportamiento del sensor para distintas concentraciones de CO₂, dicha ecuación es de la forma $y = 5.1404x^{-0.345}$, colocándola con las variables del proceso, la ecuación sería como sigue:

$$\left(\frac{R_s}{R_o}\right) = 5.1404(\text{Concentración en ppm})^{-0.345} \quad (3)$$

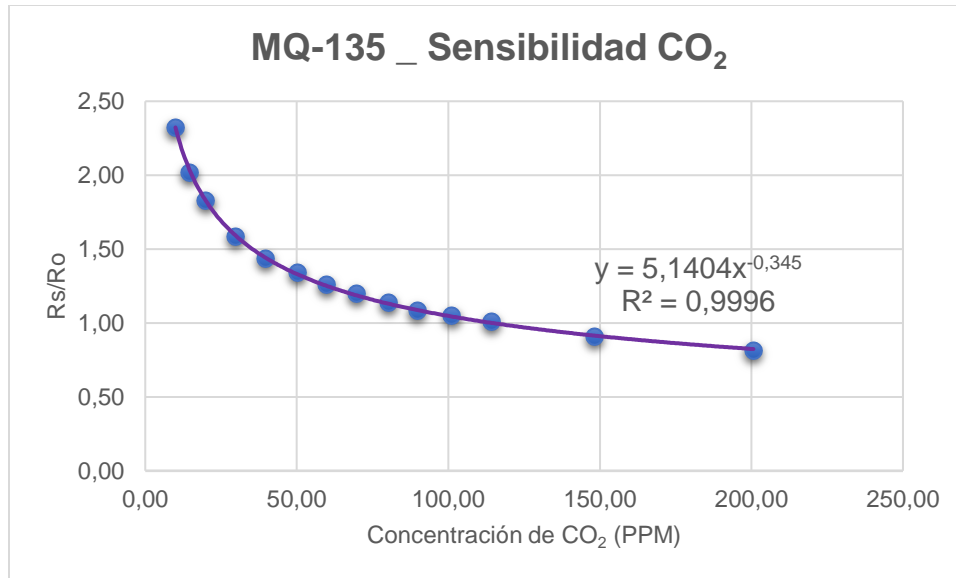


Gráfico 2. Curva de sensibilidad del MQ-135 para el CO₂.

Fuente: Reyes (2023).

4.4.1.3 Cálculo de Ro

Otro de los parámetros importantes para la lectura de los sensores es el valor de la resistencia Ro, que es la resistencia del sensor a 1000ppm de H₂ en aire limpio y 100ppm de NH₃ en aire limpio del MQ-5 y MQ-135 respectivamente. Sin embargo, se requiere de instrumentos de laboratorios más sofisticados que permitan llegar a esas concentraciones de H₂ y de NH₃ en específico. No obstante, es posible calcular esta resistencia de otra manera. Observando la curva de sensibilidad de ambos sensores (Figura 6 y Figura 7), se puede observar que la relación entre la concentración del aire y la relación Rs/Ro del mismo, es prácticamente constante y tomando en cuenta que

$$Relación = \frac{R_s}{R_o} \quad (4)$$

Específicamente en el caso del aire, se puede despejar Ro:

$$R_o = \frac{R_s}{Relación_{aire}} \quad (5)$$

La relación del aire se toma como una aproximación de la curva de sensibilidad, siendo 6.5 para el MQ-5 y 3.7 para el MQ-135. Por otro lado, Rs se calcula con la fórmula proporcionada por la hoja de datos:

$$R_s = R_l \times \frac{V_C - V_{Rl}}{V_{Rl}} \quad (6)$$

Donde:

- R_l es la resistencia de carga del módulo del sensor, que está fijada en $1k\Omega$.
- V_C es el voltaje de alimentación del sensor: $5V$.
- V_{Rl} es el voltaje de salida del sensor.

Cabe destacar que, al estar conectado el sensor a las entradas analógicas del Arduino por ser una señal analógica, este las transforma en una señal digital a través de un Convertidor Analógico-Digital (ADC por sus siglas en inglés) como lo dicta la teoría de adquisición de datos. Por lo tanto, los valores que maneja el Arduino son valores numéricos entre 0 y 1023, debido a su resolución de 10Bits. Empleando el siguiente factor de conversión:

$$V_{Rl} = ADC \times \frac{5V}{1023} \quad (7)$$

Y sustituyendo V_{Rl} en la ecuación 5

$$R_s = 1k \times \frac{5 - ADC \times \frac{5V}{1023}}{ADC \times \frac{5V}{1023}} \quad (8)$$

Simplificando se tiene:

$$R_s = \frac{1023 - ADC}{ADC} \quad (9)$$

R_s en función de los valores del convertidor analógico digital con unidades $k\Omega$.

Cabe destacar que para el cálculo de R_o utilizando esta aproximación, es importante permanecer en un ambiente cerrado y bien ventilado para evitar la influencia de corrientes de aire y contaminantes del aire exterior. Además, se recomienda realizar el cálculo en una habitación con puertas y ventanas cerradas, y asegurarse de que no haya fuentes de contaminación cercanas, como motores de combustión o fábricas que emitan gases tóxicos. También es importante evitar el uso de productos químicos o disolventes cerca de los sensores MQ, ya que estos pueden interferir con la precisión de las mediciones. Se recomienda realizar el cálculo en un área limpia y libre de polvo, y evitar la presencia de personas fumando o utilizando productos de limpieza o perfumes fuertes.

A continuación, en la Figura 31 se puede observar el código en el IDE de Arduino para el cálculo de la resistencia R_o , la función “calculoResistenciaMQ” se encarga de, dado un valor ADC calcular la resistencia R_s , de acuerdo a la última ecuación. Posteriormente, en la función “calibracionMQ” se realiza un promedio de tantas muestras de R_s del aire como lo dicte la constante “muestras_calibracion”, utilizando la función “calculoResistenciaMQ”, definida anteriormente y la lectura analógica del pin analógico al cual se encuentren conectados cada uno

de los sensores, la cual arroja el valor ADC necesario para el cálculo de R_s del aire. Luego se calcula el valor de R_o con la ecuación 5.

Por último, se devuelve el valor de R_o , utilizando la función *return*. Cabe destacar que estas medidas deben realizarse en un aire donde haya la menor cantidad de perturbaciones posibles; es decir, sin presencia de otros gases. Sin embargo, esto no es posible ya que el aire nunca es completamente limpio, pero es una buena aproximación.

```
float calculoResistenciaMQ(int adc){
    return(((float)Rl*(1023-adc)/adc));
}
//*****
float calibracionMQ(int pin_mq, float relacion_aire){
    int i;
    float Rs = 0;
    float Ro = 0;

    for(i=0; i<muestras_calibracion; i++){
        Rs += calculoResistenciaMQ(analogRead(pin_mq));
        delay(muestras_intervalo);
    }
    Rs = Rs/muestras_calibracion;
    Ro = Rs/relacion_aire;
    return Ro;
}
```

Figura 31. Código del cálculo de la resistencia R_o .
Fuente: Reyes (2023).

4.4.1.4 Cálculo de la relación R_s/R_o del aire

Una vez calculado el valor de R_o para poder realizar las lecturas de los sensores MQ, se ejecuta un programa similar en el que ahora se consigue la relación de las resistencias R_s/R_o del aire, ya que el valor tomado inicialmente era una aproximación de la curva de sensibilidad de los sensores al aire. En este código, que se puede observar en la Figura 32, se guarda el valor de lectura del sensor convertido por el ADC en la variable “mq_cad”. En este caso, se obtuvo el valor de la resistencia R_s con la expresión 6, sabiendo que V_{Rl} viene dado por la ecuación 7.

Cabe destacar, que se obtendría el mismo resultado, utilizando la ecuación de R_s en función de ADC. Posteriormente, se realiza la división de la R_s obtenida entre R_o , calculado en el apartado anterior. El resultado debe dar un valor aproximadamente igual al leído en la curva de sensibilidad

de los sensores. Para el MQ-5 la relación R_s/R_o del aire es 6.45, mientras que para el MQ-135 es de 3.82.

```
int mq_cad = analogRead(A0);

mq_volt = (float)mq_cad*5/1023;
Rs = (5-mq_volt)/mq_volt; //Rs en k ohmios
relacion = Rs/Ro;
//Serial.println(valorSensor);
Serial.print("mq_volt: ");
Serial.println(mq_volt);
Serial.print("Rs: ");
Serial.println(Rs);
Serial.print("Relación: ");
Serial.println(relacion);
```

Figura 32. Cálculo de la relación R_s/R_o del aire con el valor calculado de R_o .

Fuente: Reyes (2023).

4.4.2 Lectura de los sensores

Luego de haber calculado todos los parámetros necesarios, es posible realizar la lectura de los sensores. Mediante la función “lecturaMQ” se toma un promedio de tantas muestras de R_s como lo especifique la constante “lectura_muestra”, para efectuar el promedio se realiza un ciclo for en donde se llama a la función “calculoResistenciaMQ” definida y explicada anteriormente. Esta última función toma como parámetro el valor de la señal de salida del sensor una vez esta haya sido convertida a digital por el ADC. Finalmente, se regresa el valor de la resistencia R_s mediante el comando “return”. El código definido anteriormente se puede visualizar en la Figura 33.

```
float lecturaMQ(int pin_mq) {
    int i;
    float Rs = 0;

    for(i=0; i<lectura_muestra; i++){
        Rs += calculoResistenciaMQ(analogRead(pin_mq));
        delay(lectura_muestra_intervalo);
    }
    Rs = Rs/lectura_muestra;
    return Rs;
}
```

Figura 33. Lectura de los sensores MQ.

Fuente: Reyes (2023).

4.4.3 Corrección de humedad y temperatura

Como se mencionó en las Tablas 8 y 9 correspondientes a las matrices FODA del sensor MQ-5 y MQ-135 respectivamente; estos sensores tienen como debilidad que son propensos a tener fluctuaciones en sus medidas cuando varían las condiciones de humedad y temperatura. Es por esto, que se seleccionó el sensor DHT11 para el monitoreo de estas nuevas dos variables; corrigiendo las lecturas de los sensores MQ para determinados valores de humedad y temperatura. Para poder realizar, estas correcciones es necesario emplear las curvas de influencia de estas variables que se encuentran en las hojas de datos de estos sensores. En los apartados siguientes, se presenta el proceso de configuración del sensor DHT11, así como la obtención de las ecuaciones que permitirán la corrección de las lecturas de los sensores.

4.4.3.1 Configuración del sensor DHT11

Desde el punto de vista del Hardware, el sensor se configura como se muestra en la Figura 20; conectando el pin VCC a una alimentación de entre 3V y 5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital a la placa de desarrollo Arduino UNO con una resistencia pull-up de 4.7k Ω . En cuanto al Software, se configura como se muestra a continuación. (Ver Figura 34)

```
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

int SENSOR = 2;
int TEMPERATURA;
int HUMEDAD;

DHT dht (SENSOR, DHT11);

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

void loop() {
  TEMPERATURA = dht.readTemperature();
  HUMEDAD = dht.readHumidity();
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(TEMPERATURA);
  Serial.print(" Humedad: ");
  Serial.println(HUMEDAD);
  delay(500);
}
```

Figura 34. Código de configuración del sensor DHT11.
Fuente: Reyes (2023).

Al inicio del código se importan las librerías que permiten utilizar el sensor DHT11: “DHT.h” y “DHT_U.h”. Luego de inicializar las variables se escribe la instrucción “DHT dht(SENSOR, DHT11)”, la primera palabra hace llamado a la librería del sensor, luego se configura el sensor con dos parámetros, uno es el pin digital al cual está conectado y el segundo hace referencia al modelo de sensor DHT que se esté utilizando, ya que también aplica para el sensor DHT22. Posteriormente, en el “void setup” del programa se inicia el sensor con la instrucción “dht.begin()”; mientras que en el “void loop” se realizan las lecturas de la temperatura y humedad con las funciones “dht.readTemperature()” y “dht.readHumidity()” respectivamente. Por último, se realiza una impresión de estas variables en el monitor serial para comprobar el funcionamiento tanto de la rutina como del sensor en sí.

4.4.3.2 Coordenadas de las curvas de humedad y temperatura

Para poder realizar las correcciones es necesario utilizar las curvas de influencia de humedad y temperatura que se encuentran en las hojas de datos de los sensores MQ; obteniendo la ecuación que rige su comportamiento, de manera que se tenga la relación R_s/R_o en función de la humedad y la temperatura. Para poder lograr esto, es necesario recurrir a la página web “WebPlotDigitizer” al igual que se usó para obtener las coordenadas de las gráficas de sensibilidad de los sensores; en este caso, se utilizó para obtener las coordenadas de las curvas de influencia de humedad y temperatura tanto para el sensor MQ-5 (Ver Tabla 14) como para el sensor MQ-135 (Ver Tabla 15).

Cabe destacar que en estas curvas la variable independiente es la temperatura y la dependiente la relación R_s/R_o ; además esta curva está graficada para dos valores de humedad relativa determinados, 33% y 85%, de manera que es necesario establecer una expresión que involucre además la humedad.

Tabla 14. Coordenadas de las curvas de influencia de humedad y temperatura del sensor MQ-5.

33%RH		85%RH	
X (Temperatura C°)	Y (Rs/Ro)	X (Temperatura C°)	Y (Rs/Ro)
-10	1,3691	-10,079	1,1255
-6,2943	1,2964	-7,8712	1,0964
-1,406	1,1945	-0,14455	0,99818
-0,14455	1,1691	8,2917	0,90364

4,4284	1,0964	25,085	0,80545
19,961	0,99455	50	0,70364
37,7	0,90364		
50	0,84545		

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

En el Gráfico 3 presentado a continuación se muestra la ecuación asociada al comportamiento del sensor MQ-5 para distintos valores de temperatura, dicha ecuación es de la forma $y = 0.0001x^2 - 0.0139x + 1.1892$; es decir, una relación de tipo polinómica de grado 2 que, al colocarla con las variables del proceso, la ecuación quedaría como sigue:

$$\left(\frac{R_s}{R_o}\right) = 0.0001(Temperatura)^2 - 0.0139(Temperatura) + 1.1892 \quad (10)$$

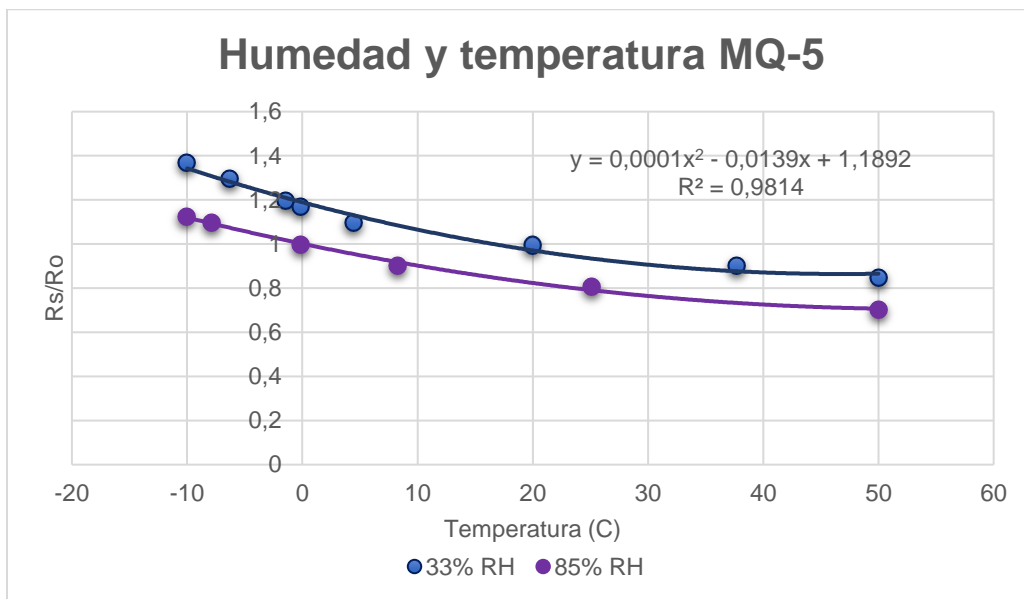


Gráfico 3. Curvas de influencia de humedad y temperatura del sensor MQ-5.

Fuente: Reyes (2023).

Sin embargo, como se mencionó anteriormente esta relación está dependiendo exclusivamente de la temperatura; no obstante, se puede observar que entre la curva con humedad relativa 33% y la de 85%, la variación en la forma de la curva es muy poca, un corrimiento en el eje “y”; esto quiere decir que para que la curva con humedad de 85% se acerque a la de 33% es necesario multiplicarla por un factor “D”. Tomando como referencia las coordenadas en “y” de

los dos últimos puntos de ambas curvas, se tiene que el factor multiplicado por la diferencia de los valores de humedad, debe dar como resultado la diferencia existente entre estas dos coordenadas; es decir, el corrimiento en “y”. Matemáticamente, esto se puede escribir de la forma:

$$(h_2 - h_1) \times D = (y_2 - y_1) \quad (11)$$

Tomando

$$\begin{cases} h_1 = 33\% \\ h_2 = 85\% \\ y_1 = 0.84545 \\ y_2 = 0.70364 \end{cases} \quad (12)$$

Se tiene

$$(85 - 33) \times D = (0.70364 - 0.84545) \quad (13)$$

$$D = \frac{0.70364 - 0.84545}{85 - 33} \quad (14)$$

$$\boxed{D = -0.0027} \quad (15)$$

De esta manera, la ecuación del factor de corrección de la lectura del sensor MQ-5, en función de la temperatura y la humedad queda de la forma:

$$\boxed{\text{Factor de corrección} = 0.000139936(T)^2 - 0.0139(T) + 1.1892 - ((H - 33) * 0.0027)} \quad (16)$$

Donde:

- T es la temperatura del ambiente en C°.
- H es la humedad del ambiente en %RH.

Tabla 15. Coordenadas de las curvas de influencia de humedad y temperatura del sensor MQ-135.

33%RH		85%RH	
X (Temperatura C°)	Y (Rs/Ro)	X (Temperatura C°)	Y (Rs/Ro)
-10,179	1,7054	-10,169	1,5349
-6,6898	1,6003	-5,3061	1,3998
-0,66227	1,4001	-0,02051	1,2547
-0,02786	1,3801	2,0935	1,1997
7,0539	1,2	10,019	1,0348
10,013	1,135	11,921	0,99977
20,047	1,0003	20,052	0,91505

29,97	0,96079	29,975	0,87556
39,892	0,94136	39,898	0,84609
50,026	0,91692	50,031	0,82166

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

Por otro lado, en el Gráfico 4 presentado a continuación se muestra la ecuación asociada al comportamiento del sensor MQ-135 para distintos valores de temperatura, dicha ecuación es de la forma $y = 0.0003x^2 - 0.026x + 1.3899$; es decir, una relación de tipo polinómica de grado 2 que, al colocarla con las variables del proceso, la ecuación quedaría como sigue:

$$\left(\frac{R_s}{R_o}\right) = 0.0003(Temperatura)^2 - 0.026(Temperatura) + 1.3899 \quad (17)$$

:

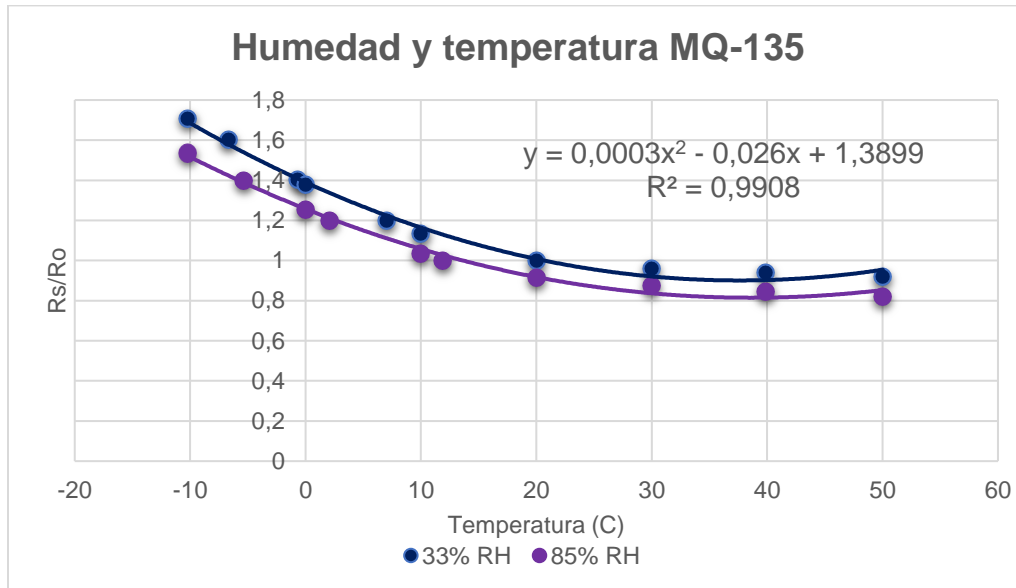


Gráfico 4. Curvas de influencia de humedad y temperatura del sensor MQ-135.

Fuente: Reyes (2023).

Aplicando el mismo procedimiento explicado para el sensor MQ-5, se tiene que el factor “D” del sensor MQ-135 es:

$$D = -0.00183 \quad (18)$$

Por lo tanto, la ecuación del factor de corrección de la lectura del sensor MQ-135, en función de la temperatura y la humedad queda de la forma:

$$\text{Factor de corrección} = 0.0003(T)^2 - 0.026(T) + 1.3899 - ((H - 33) * 0.00183) \quad (19)$$

4.4.3.3 Factor de corrección de humedad y temperatura

Una vez obtenidas las ecuaciones de cada uno de los sensores para poder realizar las correcciones de humedad y temperatura en sus lecturas, es necesario trasladar esto al IDE de Arduino (Ver Figura 35). Es por esto que se crea la función “factorCorreccion”, la cual tiene como parámetros de entrada, los valores de humedad y temperatura leídos por el DHT11 y un vector que contiene los coeficientes de las ecuaciones obtenidas en el apartado anterior; es decir, [0.000139936 ,0.0139, 1.1892, 0.0027] para el MQ-5 y [0.0003, 0.026, 1.3899, 0.00183] para el MQ-135. Dentro de la función se realiza el cálculo del factor de corrección y se regresa con el comando “return”.

```
float factorCorreccion(float t, float h, float *corCorrec){
    return corCorrec[0] * t * t - corCorrec[1] * t + corCorrec[2] - (h-33.)*corCorrec[3];
}
```

Figura 35. Código para el cálculo del factor de corrección de humedad y temperatura.
Fuente: Reyes (2023).

4.4.3.4 Cálculo de la resistencia corregida

Las correcciones calculadas son aplicadas en la lectura del sensor; es decir, en la resistencia Rs. De manera que la resistencia corregida va a ser igual al cociente de la resistencia Rs sin corregir, entre el factor de corrección calculado. En el IDE de Arduino, para efectuar este cálculo se creó una función llamada “resistenciaCorregida” (Ver Figura 36) que tiene como parámetros la temperatura y la humedad leídas por el sensor DHT11 y un entero que hace referencia al gas (0 para el GN y 1 para el CO₂). Luego de establecer la condición, las lecturas de cada gas son corregidas con el factor de corrección correspondiente, de acuerdo a la función “factorCorreccion” definida anteriormente y devueltas con el comando “return”.

```
float resistenciaCorregida(float t, float h, int gas) {
    if(gas == GN){
        return lecturaMQ(mq5)/factorCorreccion(t, h, corCorreccionGN);
    }
    if(gas == CO2){
        return lecturaMQ(mq135)/factorCorreccion(t, h, corCorreccionCO2);
    }
}
```

Figura 36. Código para el cálculo de la resistencia corregida por humedad y temperatura.
Fuente: Reyes (2023).

4.4.4 Cálculo de los valores en PPM

Posterior a la corrección de la lectura de los sensores; es necesaria la conversión de la salida de Rs a concentración de gas, en este caso, en ppm. Para realizar esta tarea hay dos métodos: utilizar la ecuación potencial de la curva de sensibilidad de los sensores al gas obtenida por la gráfica de Excel; o utilizar la ecuación de la recta, tomando el logaritmo de las variables. A continuación, se muestra el cálculo realizado para ambos métodos; sin embargo, para el código del Arduino, se utilizó el primer método.

➤ **Método 1: Ecuación potencial**

La ecuación de una curva potencial, en función de las variables del proceso es de la forma:

$$\frac{Rs}{Ro} = a(\text{Concentración en ppm})^b \quad (20)$$

Despejando la concentración del gas en ppm, se tiene

$$\boxed{\text{Concentración en ppm} = 10^{\frac{\log\left(\frac{Rs}{Ro \times a}\right)}{b}}} \quad (21)$$

➤ **Método 2: Ecuación de la recta**

Utilizando la linealización de las gráficas de sensibilidad de los sensores y la ecuación punto-pendiente de la recta:

$$(y - y_o) = m(x - x_o) \quad (22)$$

$$\left[\log\left(\frac{Rs}{Ro}\right) - \log y_o\right] = m[\log(\text{Concentración en ppm}) - \log x_o] \quad (23)$$

Despejando la concentración del gas en ppm, se tiene

$$\boxed{\text{Concentración en ppm} = 10^{\left[\frac{\log\left(\frac{Rs}{Ro}\right) - \log y_o}{m}\right] + \log x_o}} \quad (24)$$

Por último, para llevar a cabo estos cálculos en el código se crearon dos funciones: “ppmMQ” y “ppmGasMQ” (Ver Figura 37). La primera tiene como parámetros la relación Rs/Ro y el vector que contiene las constantes “a” y “b” de la ecuación potencial de sensibilidad de los sensores; es decir [7.6979, -0.391] para el MQ-5 y [5.1404, -0.345] para el MQ-135. Esta función realiza el cálculo explicado en el método 1 y devuelve la concentración de gas en ppm con correcciones de humedad y temperatura con el comando “return”. Por otro lado, la segunda función “ppmGasMQ”, tiene como parámetros la relación Rs/Ro y un entero que hace referencia al gas (0 para el GN y 1 para el CO₂) que, luego de establecer la condición, regresa con el comando

“return” los valores en ppm calculados con los parámetros de la curva en la función “ppmMQ” correspondiente a cada gas.

```
long ppmMQ(float relacion_Rs_Ro, float *pcurva) {
    return (pow(10, (log(relacion_Rs_Ro*(1/pcurva[0]))/pcurva[1])));
}
//*****
long ppmGasMQ(float relacion_Rs_Ro, int gas) {
    if(gas == GN) {
        return ppmMQ(relacion_Rs_Ro, curvaGN);
    }
    if(gas == CO2) {
        return ppmMQ(relacion_Rs_Ro, curvaCO2);
    }
}
```

Figura 37. Código para el cálculo de las lecturas de los sensores en ppm.
Fuente: Reyes (2023).

4.4.5 Visualización de valores

Una vez realizados todos los cálculos para la obtención de los valores de concentración de gas en ppm; es necesario imprimir dichas magnitudes para que sean vistas por el usuario. Para mostrar las lecturas se seleccionó un LCD I2C integrado a la tarjeta. Luego de importar las bibliotecas correspondientes al LCD, configurarlo con la instrucción “LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7);” e inicializarlo en el “void setup” con la instrucción “lcd.begin(16,2)” haciendo referencia a que es una pantalla de 16 columnas con 2 filas; se procede a la impresión de los mensajes requeridos como se puede visualizar en la Figura 38. Para la impresión se colocó el valor de ppm de GN en la fila uno y el de CO₂ en la fila dos, se espera un *delay* de dos segundos, se borra la pantalla y se imprime el valor de la temperatura en C° en la fila uno y el de la humedad en %RH en la fila dos para posteriormente borrar la pantalla luego de otro *delay* de dos segundos. Este procedimiento ocurre de manera cíclica.

```

//IMPRESIÓN EN EL LCD
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("GN: ");
lcd.print(iPPM_GN); //Impresión de la concentración de GN
lcd.print(" ppm");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("CO2: ");
lcd.print(iPPM_CO2); //Impresión de la concentración de CO2
lcd.print(" ppm");
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Temp: ");
lcd.print(temp); //Impresión de la temperatura
lcd.print(" C");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Humedad: ");
lcd.print(hum); //Impresión de la humedad
lcd.println(" %RH");
delay(2000);

```

Figura 38. Código para la impresión de los valores en el LCD.

Fuente: Reyes (2023).

4.4.6 Generación de alarmas

Ya al estar en estado de monitoreo, siendo capaz la tarjeta de la obtener y hacer visualizar las lecturas de los sensores, es necesario fijar los niveles de alarmas asociadas a los distintos niveles de concentración de ambos gases. Sabiendo que para el GN el LEL es de 50000 ppm y que el límite de exposición para el ser humano del CO₂ es de 5000 ppm; entonces las alarmas de mayor peligro serán activadas casi en el umbral de los sensores, en más de 9000 y más de 900 para el MQ-5 y el MQ-135 respectivamente; representando un peligro potencial que debe ser revisado por el personal. De esta manera, para la programación de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino se producirán las siguientes alarmas y señales correspondientes a los siguientes de niveles de concentración de GN y CO₂ (Ver Tabla 16).

Tabla 16. Alarmas de la tarjeta de adquisición de datos de acuerdo a la concentración de los gases.

GAS NATURAL (GN)

Concentración (ppm)	Alarma o señal asociada
---------------------	-------------------------

0 ppm – 2999 ppm	Led verde
3000 ppm – 8.999 ppm	Led amarillo, mensaje de advertencia por el LCD y la interfaz gráfica y tono de advertencia emitido por el buzzer
> 9.000 ppm	Led rojo, mensaje de peligro por el LCD y la interfaz gráfica y sirena emitida por el buzzer
DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)	
Concentración (ppm)	Alarma o señal asociada
0 ppm – 699 ppm	Led verde
700 ppm – 899 ppm	Led amarillo, mensaje de advertencia por el LCD y la interfaz gráfica y tono de advertencia emitido por el buzzer
> 900 ppm	Led rojo, mensaje de peligro por el LCD y la interfaz gráfica y sirena emitida por el buzzer

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

4.4.6.1 Alarma por LCD

Como se definió anteriormente en la Tabla 18 y en el diagrama de flujo de la tarjeta de adquisición de datos (Ver Figura 24), el LCD enviará mensajes de concentración sospechosa cuando los valores de concentración de GN se encuentren entre 3000 y 8999 ppm, o cuando los valores de concentración de CO₂ se encuentren entre 700 y 899. Por otra parte, el LCD enviará alarma de concentración peligrosa cuando la concentración del GN en el ambiente sea superior a los 9000 ppm o cuando la concentración de CO₂ sea superior a 900 ppm. Esta lógica se puede observar en la Figura 39, donde se utilizan los condicionales para imprimir los mensajes correspondientes al LCD.

```

//CONDICIONES ALARMAS LCD
if((iPPM_GN>=3000 and iPPM_GN<9000) or (iPPM_CO2>=700 and iPPM_CO2<900)){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Sospechoso");
  delay(1000);
}
else if((iPPM_GN>=9000) or (iPPM_CO2>=900)){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Peligroso");
  delay(1000);
}
}

```

Figura 39. Código para la emisión de alarmas por el LCD.
Fuente: Reyes (2023).

4.4.6.2 Alarma por Led

Por otra parte, se tienen los niveles de seguridad de las concentraciones por color, que son representados por los Led. Led verde para nivel seguro, amarillo para nivel sospechoso y rojo para nivel peligroso. En el código de la Figura 40 se tienen definidas estas salidas digitales de acuerdo a los mismos niveles de concentración especificados en el apartado de alarma por LCD; en adición se tiene el primer nivel de seguridad (Led verde), el cual va a estar activo mientras el GN se encuentre entre 200 y 2999 ppm y el CO₂ entre 10 y 700 ppm.

```

//CONDICIONES ALARMAS LED
if((iPPM_GN>=200 and iPPM_GN<3000) and (iPPM_CO2>=10 and iPPM_CO2<700)){
  digitalWrite(ledVerde, HIGH);
  digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
  digitalWrite(ledRojo, LOW);
  delay(500);
}
else if((iPPM_GN>=3000 and iPPM_GN<9000) or (iPPM_CO2>=700 and iPPM_CO2<900)){
  digitalWrite(ledAmarillo, HIGH);
  digitalWrite(ledVerde, LOW);
  digitalWrite(ledRojo, LOW);
  delay(500);
}
else {
  digitalWrite(ledRojo, HIGH);
  digitalWrite(ledVerde, LOW);
  digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
  delay(500);
}
}

```

Figura 40. Código para la emisión de alarmas por LED.
Fuente: Reyes (2023).

4.4.6.3 Alarma por buzzer

Por último, se tiene la alarma sonora, la cual tiene los mismos niveles de activación de las alarmas por LCD, cuando las concentraciones se encuentran en nivel sospechoso y en nivel peligroso. En el código de la Figura 41 se puede observar que, para el nivel sospechoso, el buzzer emitirá un sonido de acuerdo a la frecuencia y duración especificada mediante la función “*tone*” y luego se apagará utilizando “*notone*”, este proceso se repite tres veces. Cabe destacar que mientras los niveles de concentración se encuentren en el rango de concentraciones sospechosas esa rutina se seguirá repitiendo. Por otro lado, cuando las concentraciones se encuentran en el rango peligroso, se tiene un ciclo que incrementa progresivamente la frecuencia y luego apaga el buzzer que permite la simulación de una sirena.

```
//CONDICIONES ALARMAS BUZZER
if((iPPM_GN>=3000 and iPPM_GN<9000) or (iPPM_CO2>=700 and iPPM_CO2<900)){
  for(int i=0; i<3; i++){
    tone(pinBuzz,frecuencia,duracion);
    delay(500);
    noTone(pinBuzz);
    delay(500);
  }
}
else if((iPPM_GN>=9000) or (iPPM_CO2>=900)){
  for(int x=0; x<180; x++){
    sinVal = (sin(x*(3.1415/180)));
    toneVal = 2000+int((sinVal*1000));
    tone(pinBuzz, toneVal);
    delay(2);
    noTone(pinBuzz);
  }
}
```

Figura 41. Código para la emisión de alarmas por buzzer.
Fuente: Reyes (2023).

4.4.7 Diseño físico de la tarjeta de adquisición de datos

El diseño físico de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino se basa en el uso de una placa de circuito impreso (PCB) de tamaño reducido, que se utiliza como una mini protoboard. Los componentes electrónicos que se utilizan para el diseño de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino se ubican en esta mini protoboard, que se compone de una

baquelita que permite la conexión de los componentes mediante los orificios y las pistas de cobre que se encuentran en su superficie.

A continuación, se presentan algunas de las ventajas más destacadas del diseño físico de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino:

- **Flexibilidad:** La mini protoboard de baquelita utilizada en el diseño físico de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino permite la conexión de componentes electrónicos de manera sencilla y rápida.
- **Adaptabilidad:** El uso de un microcontrolador Arduino en el diseño permite la programación de la tarjeta para adaptarse a una amplia variedad de aplicaciones.
- **Portabilidad:** La tarjeta es compacta y fácil de transportar. Esto la hace ideal para proyectos de adquisición de datos que requieran movilidad.
- **Carcasa protectora:** En algunos casos, la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino puede ser utilizada dentro de una carcasa que contenga todos los componentes. Esto proporciona una protección adicional a la tarjeta y evita que los componentes se dañen debido a la exposición al medio ambiente o a otros factores.

En la Figura 42 se puede observar el esquema en Proteus de la tarjeta de adquisición de datos con todos sus componentes, este esquema es la guía para el montaje en el mini protoboard de baquelita

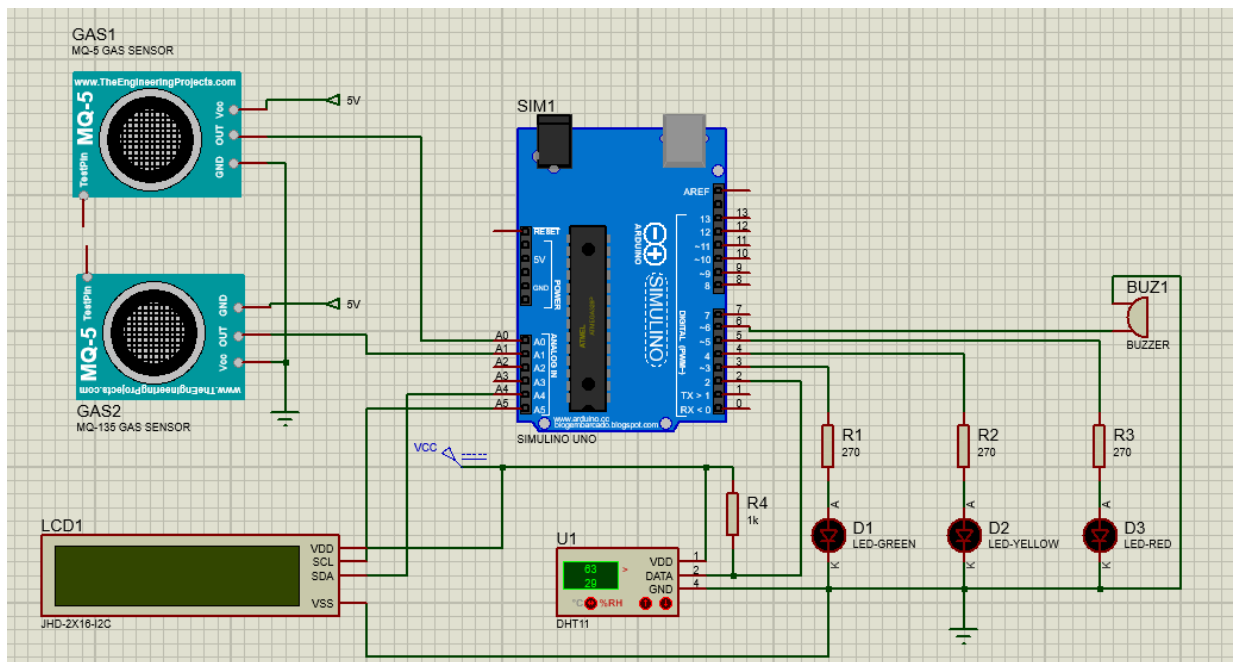


Figura 42. Esquema de conexiones de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.
Fuente: Reyes (2023).

En las Figuras 43, 44, 45, 46 y 47 se pueden observar el modelo 3D de la vista superior, frontal, lateral izquierda, lateral derecha y trasera respectivamente del prototipo realizado en el software Proteus, mostrando un configuración en una baquelita diseñada especialmente para la tarjeta.

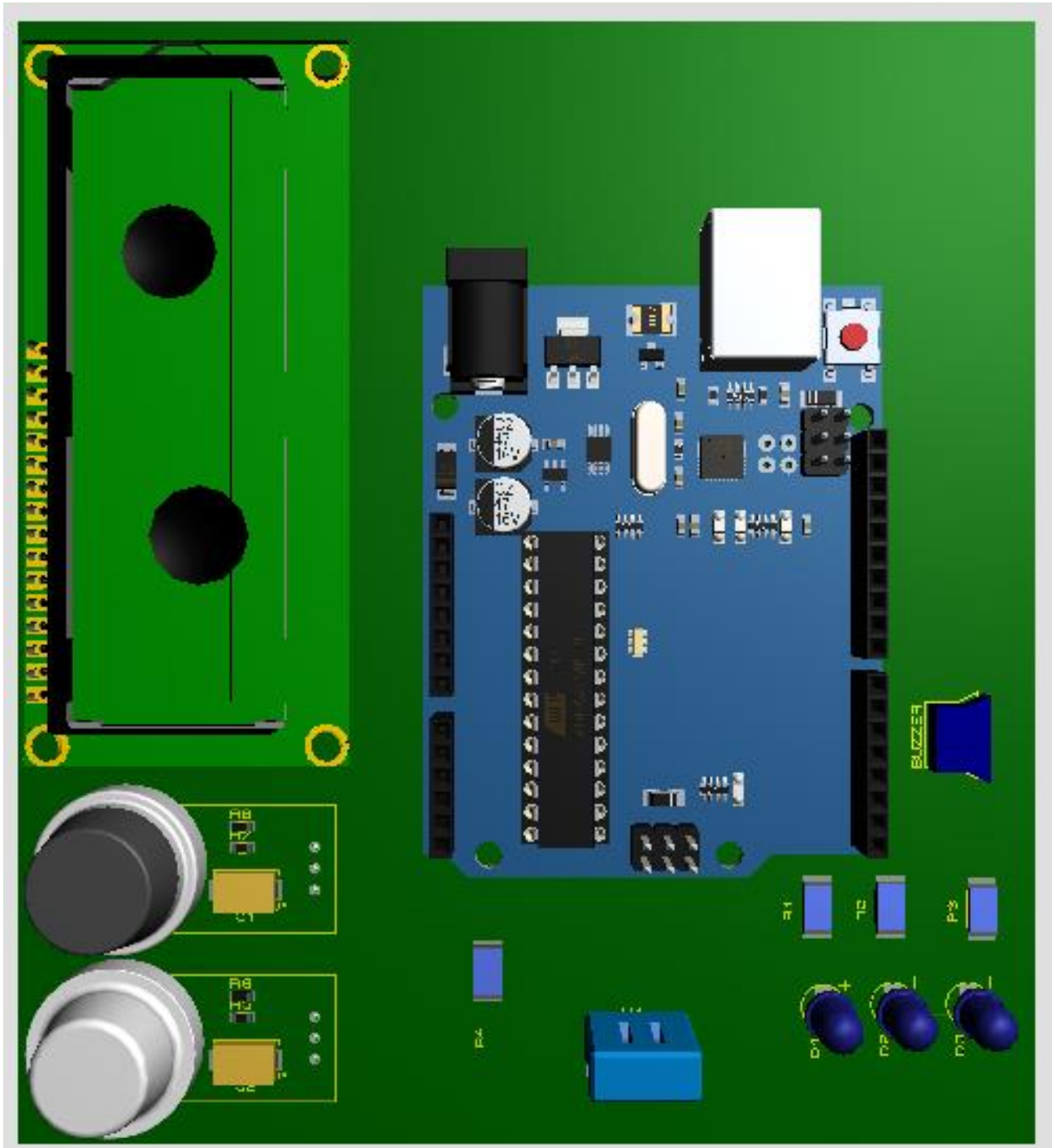


Figura 43. Vista superior de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.
Fuente: Reyes (2023).

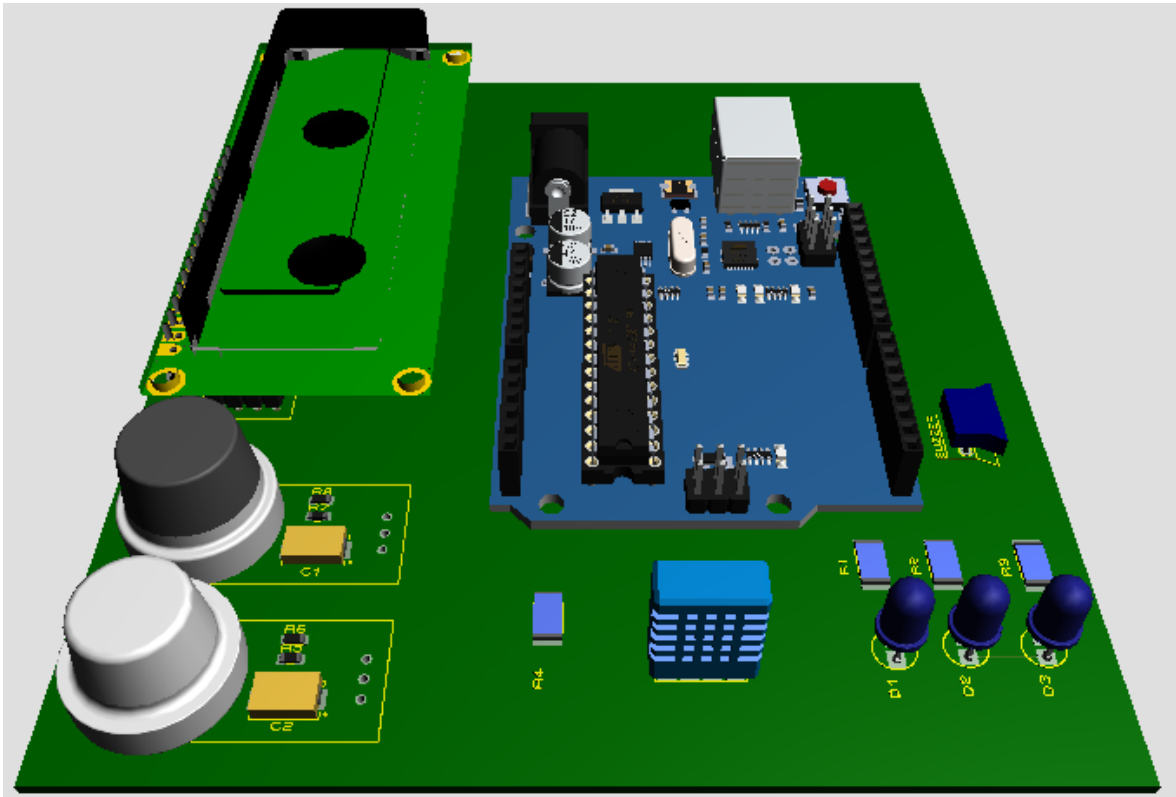


Figura 44. Vista frontal de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.
Fuente: Reyes (2023).

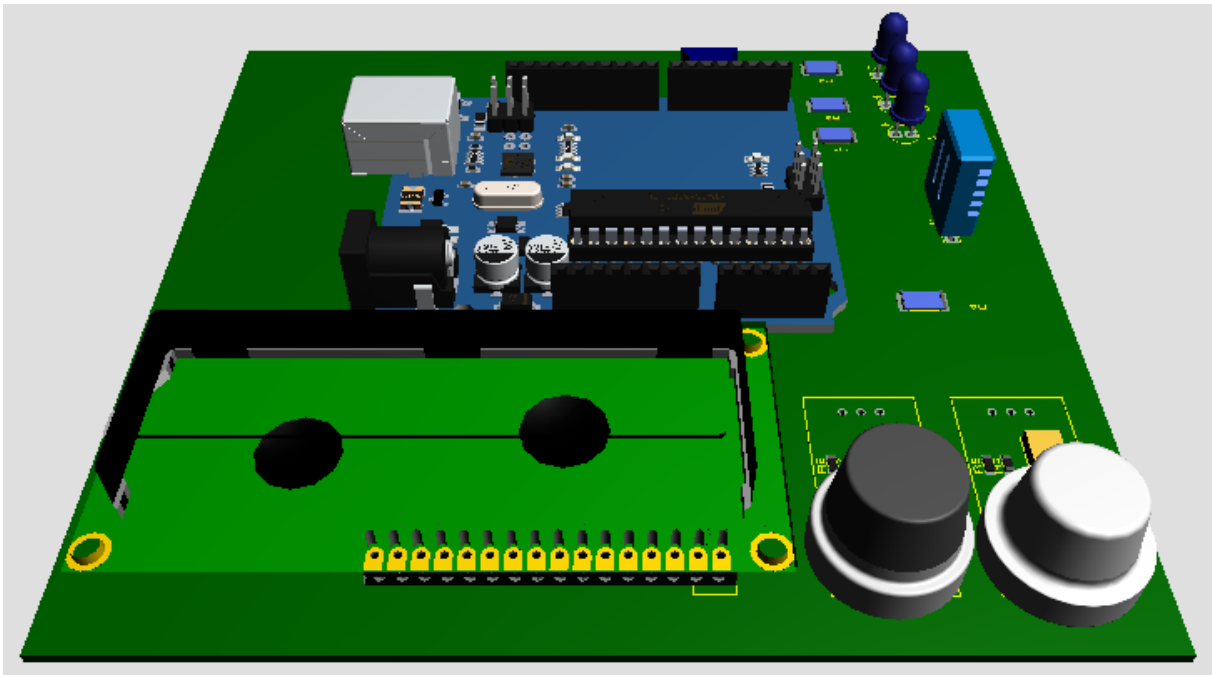


Figura 45. Vista lateral izquierda de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.
Fuente: Reyes (2023).

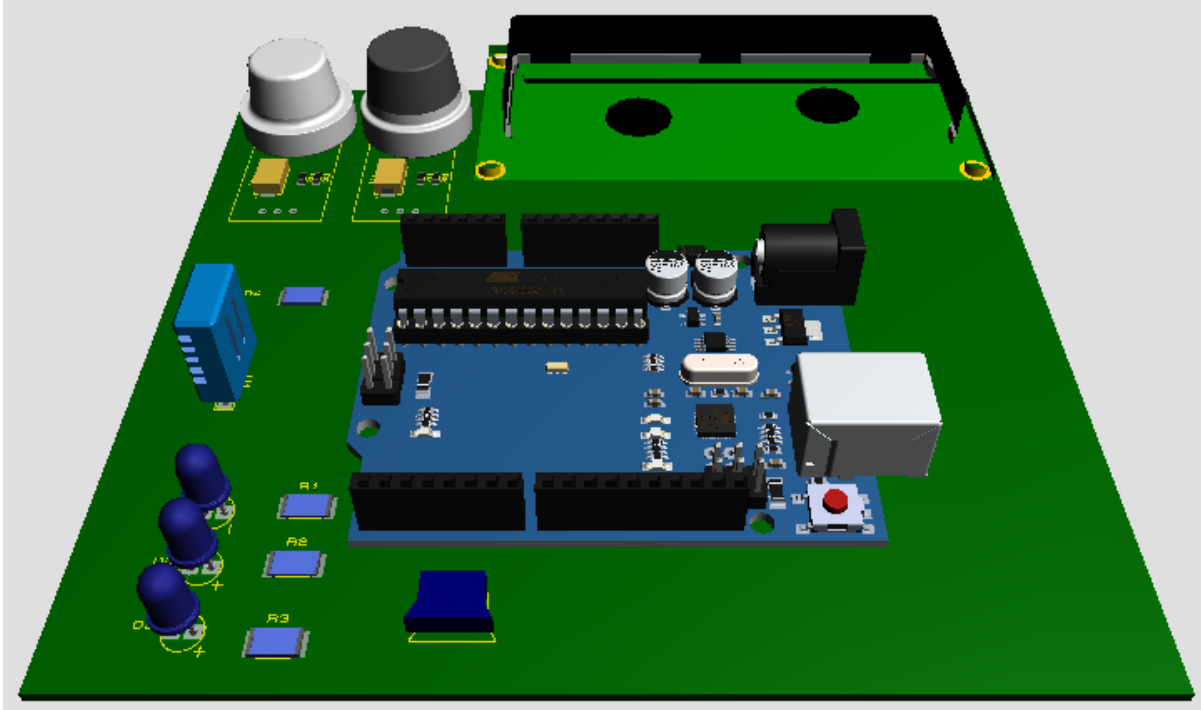


Figura 46. Vista lateral derecha de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.
Fuente: Reyes (2023).

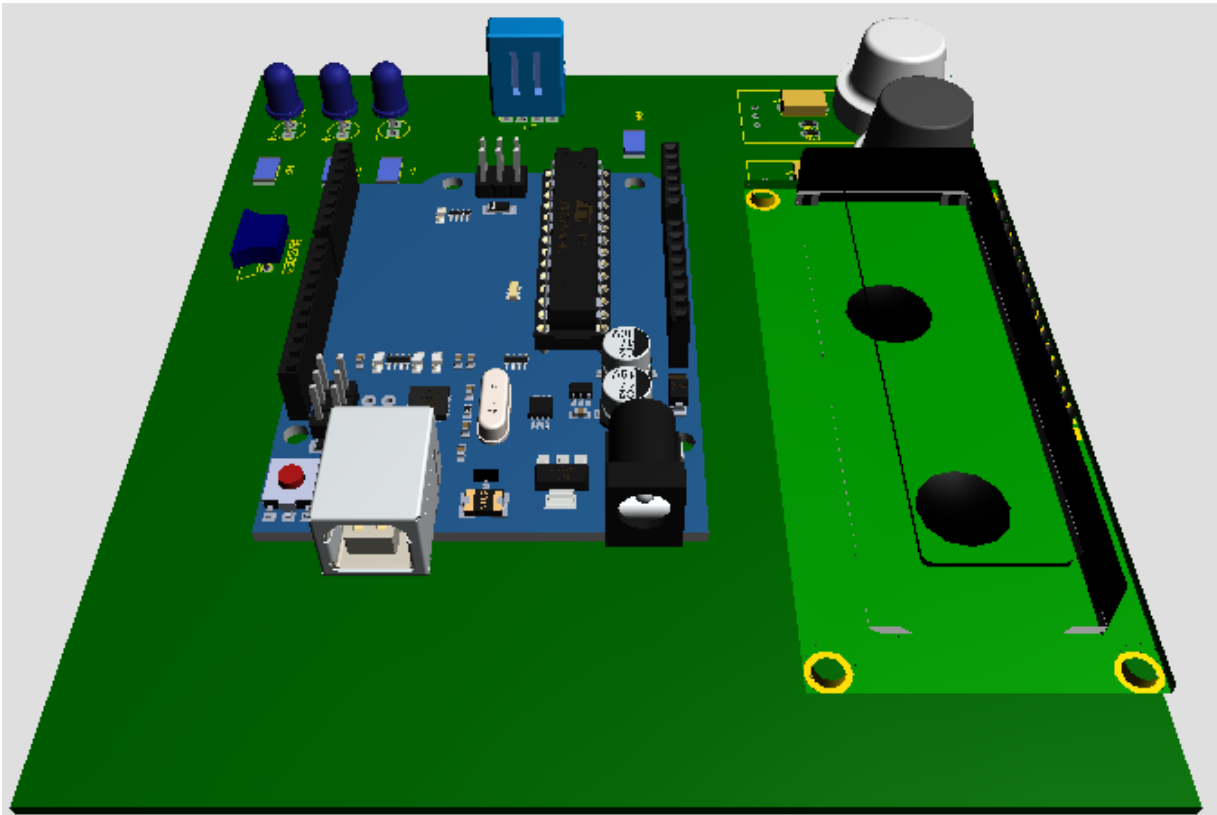


Figura 47. Vista trasera de la tarjeta de adquisición de datos en Proteus.
Fuente: Reyes (2023).

A continuación, se muestran las Figuras 47, 48, 49 y 50 correspondientes a la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino en físico. Cabe destacar que se reutilizó una carcasa de un regulador de voltaje de la marca Exceline que ya no estaba en funcionamiento..



Figura 48. Tarjeta de adquisición de datos en físico.
Fuente: Reyes (2023).



Figura 49. Encendido de la tarjeta de adquisición de datos.
Fuente: Reyes (2023).



Figura 50. Pantalla de concentraciones de la tarjeta de adquisición de datos.
Fuente: Reyes (2023).



Figura 51. Pantalla de humedad y temperatura de la tarjeta de adquisición de datos.
Fuente: Reyes (2023).

4.4.8 Prueba piloto

Para la verificación del comportamiento de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino se realizaron una serie de pruebas a lo largo del diseño, exponiendo los sensores a los gases. La prueba de la tarjeta completa se realizó exponiendo la misma al GN que disponen las cocinas domésticas recopilando los datos de la lista de cotejo expuesta en la Tabla 17. Cabe destacar que para evitar daños y, aún así poder visualizar el comportamiento de la tarjeta se disminuyeron los umbrales de activación de alarmas, activando el nivel sospechoso con unos niveles de concentración de GN entre 15 y 39 ppm o entre 5 y 10 ppm de CO₂. Por otra parte, las alarmas de niveles de concentración peligrosa se activan cuando superan los 40 y 10 ppm de GN o CO₂ respectivamente.

Asimismo, cabe mencionar que al superar los 40ppm y comprobar el comportamiento de la tarjeta en los niveles “peligrosos”, se cerró la hornilla de gas. Esto se puede observar en la Tabla 17 a partir del instante $t = 25$ s, donde los niveles de concentración comienzan a disminuir.

Tabla 17. Lista de cotejo para verificar funcionamiento.

PARTE I									
Tiempo (s)	t = 0	t = 5	t = 10	t = 15	t = 20	t = 25	t = 30	t = 35	t = 40
GN (ppm)	0	2	19	27	31	41	22	13	0
CO ₂ (ppm)	0	6	22	27	28	44	1	0	0
Nivel de seguridad	Seguro	Seguro	Seguro	Seguro	Seguro	Seguro	Seguro	Seguro	Seguro
PARTE II									
Parámetros a Evaluar							SÍ	NO	
1. ¿En el nivel de concentración segura se enciende el LED verde de la tarjeta de adquisición de datos?							X		
2. ¿En el nivel de concentración segura la alarma de la tarjeta de adquisición de datos se mantiene apagada?							X		
3. ¿En el nivel de concentración sospechoso se enciende el LED amarillo de la tarjeta de adquisición de datos?							X		
4. ¿En el nivel de concentración sospechoso se enciende la alarma simple de la tarjeta de adquisición de datos?							X		

5. ¿En el nivel de concentración peligroso se enciende el LED rojo de la tarjeta de adquisición de datos?	X	
6. ¿En el nivel de concentración peligroso se enciende la sirena de la tarjeta de adquisición de datos?	X	
7. ¿Se visualizan las mediciones de la tarjeta de adquisición de datos en la pantalla LCD?	X	
10. ¿El dispositivo transmite los mensajes de alarma al operador en niveles de seguridad sospechoso y peligroso?	X	

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

4.5 Fase V. Desarrollo de una interfaz gráfica que muestre los niveles de gases emitidos y alarme al operador en caso de anomalías de estos valores haciendo uso del lenguaje de programación Python.

4.5.1 Frame de inicio de sesión

La interfaz gráfica fue desarrollada utilizando el lenguaje de programación Python, empleando la biblioteca Tkinter, la cual proporciona los elementos necesarios para poder programar interfaces gráficas de usuario (GUI) lo suficientemente avanzadas para lo requerido por la aplicación de la presente investigación. La GUI se inicia con una ventana que solicita al usuario que proporcione un nombre de usuario y una contraseña para iniciar sesión (Ver Figura 52). Luego, el programa verifica las credenciales del usuario y, si son correctas, abre una ventana de gráficos que muestra datos en tiempo real leídos desde la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino. En el caso contrario, se muestra un mensaje al usuario que indica que la contraseña o el usuario ingresado es incorrecto, de manera que se pueda intentar ingresar nuevamente. (Ver Figura 53)



Figura 52. Frame de inicio de sesión de la GUI.
Fuente: Reyes (2023).

La función "on_login_click()", la cual se puede observar en la Figura 54, se llama cuando el usuario hace clic en el botón de inicio de sesión. La función recupera los valores de los campos de entrada de nombre de usuario y contraseña, y verifica si son correctos. Si las credenciales son correctas, se cierra la ventana de inicio de sesión y se abre la ventana de la adquisición de datos de las concentraciones de gases en tiempo real. Si las credenciales son incorrectas, se muestra un mensaje de error; este se puede observar en la Figura 53 que se muestra a continuación.



Figura 53. Mensaje de error con usuario o contraseña incorrecta.
Fuente: Reyes (2023).

Luego de esta comparación inicial, se coloca un “else” para tomar en cuenta todas las demás posibilidades de entradas de los campos de usuario y contraseña; esta parte del código se encarga de crear o actualizar un marco de interfaz gráfica de usuario (Frame) para mostrar campos de entrada (Entry) para que el usuario pueda ingresar un nombre de usuario y una contraseña. Si el marco ya existe, los valores de los campos de entrada se actualizan con los nuevos valores de usuario y contraseña. Si el marco no existe, se crea uno nuevo con los campos de entrada. Esta actualización fue necesaria para evitar que los elementos del frame se modificaran en posición o tamaño al introducir un usuario o contraseña incorrecta.

```
def on_login_click():
    global entry_user, entry_password
    frame_login = Frame(window)
    user = entry_user.get()
    password = entry_password.get()
    if user == 'prueba' and password == '2023':
        window.destroy()
        import os
        os.system('python monitoreo_gases.py')
    else:
        # Si el frame_login no existe, se crea
        if not frame_login:
            frame_login = Frame(window)
            frame_login.pack()
            entry_user = Entry(frame_login, bd=0, bg="#43769B", fg="#000716", highlightthickness=0)
            entry_user.pack()
            entry_password = Entry(frame_login, bd=0, bg="#43769B", fg="#000716", highlightthickness=0, show="*")
            entry_password.pack()
        # Si el frame_login ya existe, se actualizan los valores de los Entry
        entry_user.delete(0, END)
        entry_password.delete(0, END)
        entry_user.insert(0, user)
        entry_password.insert(0, password)
        messagebox.showerror(message='Contraseña o usuario incorrecto, verifique', title='Error')
```

Figura 54. Función de inicio de sesión de la GUI.

Fuente: Reyes (2023).

La sección final de código utiliza la clase "Canvas" de Tkinter para crear la ventana principal. Se crean varios elementos gráficos, como imágenes, campos de entrada y botones, y se colocan en la ventana utilizando los métodos "create_image()" y "place()". Por último, la ventana se ejecuta en un bucle principal "mainloop()" que espera la interacción del usuario.

4.5.2 Frame de visualización de concentraciones

El código es una interfaz gráfica de usuario que muestra en tiempo real los valores de cuatro sensores que miden diferentes concentraciones (Ver Figura 55). La interfaz está construida con la biblioteca de Python Tkinter y utiliza las bibliotecas de Matplotlib y serial para mostrar los valores de los sensores y para leer los datos en serie desde un puerto serie. Además, la interfaz consta de una ventana principal, que contiene, un rectángulo en el que se muestra la gráfica y una imagen en el centro. También hay dos botones en la parte inferior de la ventana para iniciar y detener la lectura de los valores de los sensores.

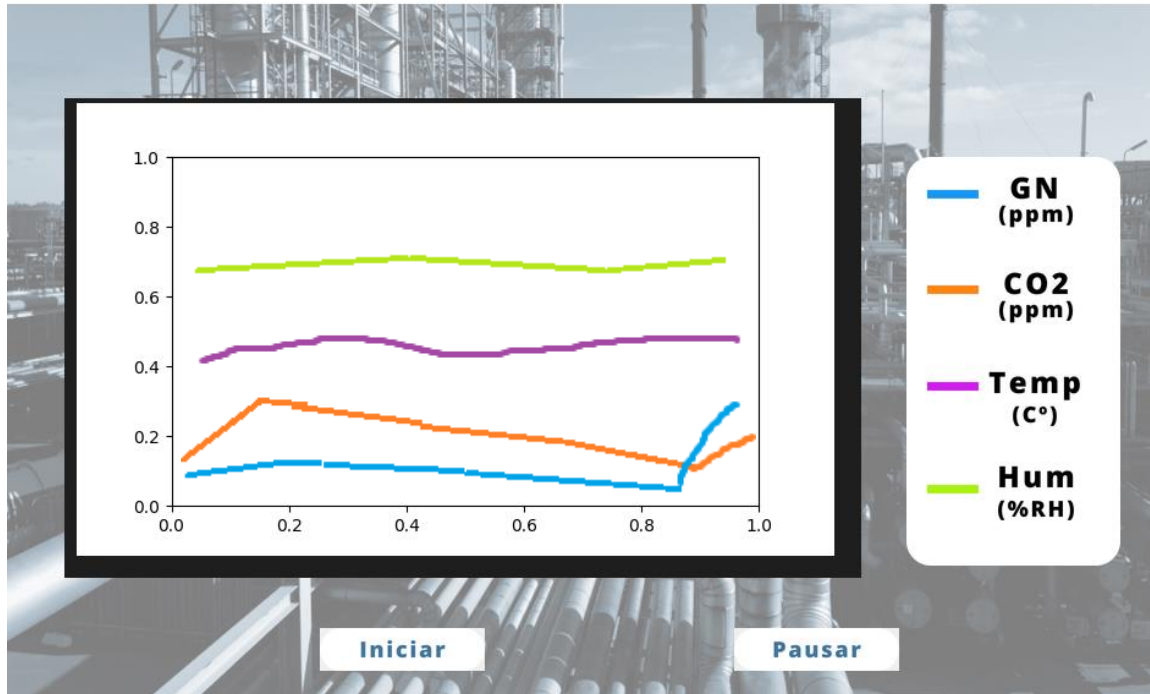


Figura 55. Frame de visualización de concentraciones en tiempo real.
Fuente: Reyes (2023).

El rectángulo que contiene la gráfica se crea usando la función “Canvas()” de Tkinter y se coloca en las coordenadas “x” y “y” de la ventana. La gráfica en sí se crea con la biblioteca de Matplotlib utilizando la función “Figure()”. Se agregan cuatro líneas a la figura, cada una representando los valores de un sensor diferente. Las líneas se agregan a un objeto de eje de la figura y se muestra una leyenda con los nombres de cada sensor.

Por otro lado, la función “start_serial()” (Ver Figura 56) inicia una conexión serial con la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino cuando es presionado el botón de “Iniciar” ubicado en la parte inferior izquierda de la ventana; inicialmente la conexión se da en el puerto COM4 con una velocidad de transmisión de 9600 bits por segundo. Esta función se llama cuando se autentica al usuario y se abre la ventana de gráficos. Asimismo, se tiene la función “pause_serial()” (Ver Figura 57) la cual permite detener la comunicación serial al presionar el botón “Pausar” ubicado en la parte inferior derecha de la ventana.

```
# Función para iniciar la comunicación serial
def start_serial():
    print("Estableciendo conexión serial")
    global ser
    ser = serial.Serial('COM4', 9600)
```

Figura 56. Función para iniciar la conexión serial.

Fuente: Reyes (2023).

```
# Función para pausar la comunicación serial
def pause_serial():
    global ser
    if ser is not None:
        ser.close()
        ser = None
```

Figura 57. Función para pausar la comunicación serial.

Fuente: Reyes (2023).

Posteriormente, la función "*read_serial()*" (Ver Figura 58) lee los datos enviados por el dispositivo serial y los convierte en una lista de números flotantes. Esto se hace utilizando el método "*readline()*" del objeto serial y decodificando la cadena resultante en formato UTF-8. Luego, se eliminan los espacios en blanco y comas de la cadena y se convierten los valores a números flotantes utilizando una comprensión de lista.

```
# Función para leer los valores del puerto serie
def read_serial():
    print("Leyendo datos puerto serial")
    ser.timeout = 1
    ser_bytes = ser.readline()
    try:
        values = [float(v) for v in ser_bytes.decode('utf-8').split()]
    except ValueError:
        values = []
    return values
```

Figura 58. Función para leer los valores del puerto serie.

Fuente: Reyes (2023).

Por otra parte, la función "*update_graph()*" (Ver Figura 59) actualiza la gráfica en tiempo real con los datos leídos desde el puerto serial. La función utiliza el método "*set_xdata()*" y "*set_ydata()*" del objeto "line" creado anteriormente para actualizar los datos de la línea en la gráfica. Los valores de "x" son simplemente una secuencia de enteros del 0 a la longitud de la lista de datos "y". Luego, se llaman los métodos "*relim()*" y "*autoscale_view()*" del objeto "ax" para ajustar los límites de la gráfica en función de los nuevos datos. Finalmente, se llama al método "*update()*" del objeto "canvas" para actualizar la ventana de gráficos.

```

# Función para actualizar los valores de la gráfica
def update_graph():
    print("Actualizando gráfica")
    global ser
    if ser is None:
        start_serial()
    # Leer los valores del puerto serie
    values = read_serial()
    # Añadir los valores a la gráfica
    for i, v in enumerate(values):
        lines[i].set_ydata(lines[i].get_ydata()[1:] + [v])
    # Agregar texto a la figura
    text = ax.text(0.5, 0.95, '', horizontalalignment='center', verticalalignment='top',
transform=ax.transAxes, fontsize=12, fontweight='bold', color='white')
    # Leer valores del monitor serial y actualizar el texto en la figura
    while True:
        valores = []
        for i in range(4):
            valor = ser.readline().decode().strip()
            valores.append(valor)
        texto = f'Valores: {valores[0]}, {valores[1]}, {valores[2]}, {valores[3]}'
        text.set_text(texto)
        canvas.update()
    # Volver a llamar a esta función después de 100 milisegundos
    root.after(100, update_graph)

```

Figura 59. Función para actualizar los valores de la gráfica.
Fuente: Reyes (2023).

Para que el gráfico se actualice continuamente, la función *update_graph()* definida anteriormente se llama repetidamente utilizando el método *after()* de la ventana de Tkinter. Este método programa una función para que se ejecute después de un retraso especificado en milisegundos. En este caso, la función *update_graph()* se programa para ejecutarse cada 100 milisegundos (es decir, 0,1 segundos), lo que es lo suficientemente rápido para crear la ilusión de una actualización en tiempo real.

Finalmente, la función “alarmas()” (Ver Figura 60) se utiliza para leer los valores de los sensores y mostrar mensajes de alarma si los valores son sospechosos o peligrosos. Esta función es un bucle infinito que se ejecuta en segundo plano para leer los valores de los sensores de un monitor serial y mostrar mensajes de alarma en la pantalla si se detectan valores sospechosos o peligrosos. La función utiliza la biblioteca “serial” de Python para leer los valores del monitor serial, que se dividen en sus componentes y se convierten a números de punto flotante utilizando la función “map()”. Si la línea no se puede dividir correctamente, se ignora y se continúa leyendo la siguiente línea.

Después de dividir los valores en sus componentes, la función “alarmas()” comprueba si los valores de los sensores son sospechosos o peligrosos de acuerdo a los niveles de seguridad definidos anteriormente. Si los valores se encuentran en un rango sospechoso, se muestra un

mensaje de alarma en la pantalla utilizando la función `messagebox.showwarning()` de Tkinter (Ver Figura 61). Si los valores se encuentran en un rango potencialmente peligroso, se muestra otro mensaje de alarma en la pantalla (Ver Figura 62). Por último, la función “alarmas()” se llama a sí misma de nuevo utilizando el método “*after()*” de Tkinter, con un retraso de 1 segundo (1000 milisegundos). Esto asegura que la función se ejecutará continuamente en segundo plano mientras la aplicación esté en ejecución.

```
def alarmas():
    # Leer valores del monitor serial y mostrar mensajes de alarma
    while True:
        # Leer una línea del puerto serie y dividirla en sus componentes
        try:
            linea = ser.readline().decode().strip()
            ppmGN, ppmCO2, temp, hum = map(float, linea.split(','))
        except ValueError:
            continue # Ignorar líneas que no se pueden dividir correctamente

        # Comprobar si los valores de los sensores son sospechosos o peligrosos
        if (ppmGN >= 3000 and ppmGN < 7000) or (ppmCO2 >= 350 and ppmCO2 < 900):
            messagebox.showwarning('Alarma', 'El nivel de concentración es sospechoso')
        elif ppmGN >= 7000 or ppmCO2 >= 900:
            messagebox.showwarning('Alarma', 'El nivel de concentración es potencialmente peligroso, verifique')
        root.after(1000, alarmas)
```

Figura 60. Función para la generación de alarmas.

Fuente: Reyes (2023).

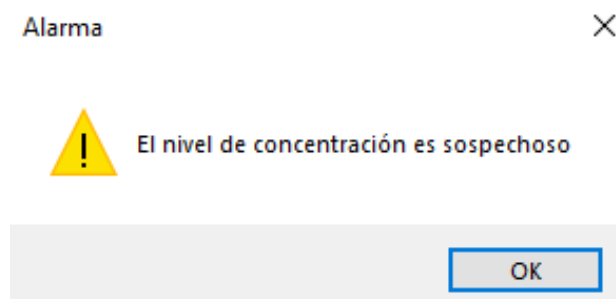


Figura 61. Advertencia de concentración de gas sospechosa.

Fuente: Reyes (2023).

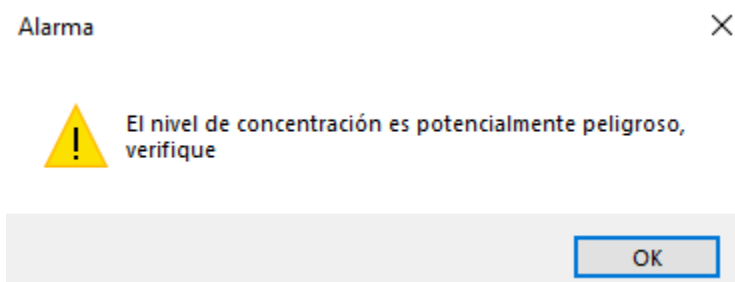


Figura 62. Advertencia concentración de gas potencialmente peligrosa.

Fuente: Reyes (2023).

4.6 Fase VI. Evaluación del costo de la implementación del sistema prototipo.

Por último, a lo largo de esta fase se tomaron en cuenta todos los recursos necesarios para la elaboración del prototipo, desde todos los componentes utilizados para el diseño de la propuesta, tales como los sensores, el módulo de Wi-Fi, la fuente externa del prototipo, hasta el costo de los recursos humanos empleados. A continuación, en la Tabla 18, se puede observar el costo que implica la implementación de la tarjeta.

Tabla 18. Presupuesto de los recursos utilizados para la tarjeta de adquisición de datos.

RECURSOS	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	TOTAL (\$)
HUMANOS	Horas Ingeniería	3.15/h	8h	25.2
	Arduino UNO	10.0	1	10
	MQ-5	8.0	1	8
	MQ-135	8.0	1	8
	DHT11	2.7	1	2.7
	LCD I2C 16x2	5.5	1	5.5
	Leds	0.1	3	0.3
MATERIALES	Buzzer pasivo	2.0	1	2.0
	ESP32	11.0	1	11.0
	Resistencia 4.7k	0.2	1	0.2
	Resistencia 330	0.2	3	0.6
	Resistencia 1k	0.2	1	0.2
	Resistencia 2k	0.2	1	0.2
	Placa soldable mini protoboard	5.0	1	5.0
	Fuente 7.5V-2 ^a	2.6	1	2.6
	Carcasa	6.5	1	6.5
	TOTAL			

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

Para poder tener una referencia del presupuesto para la implementación de la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino, se recopiló información sobre distintos instrumentos de medición de gases, sus características y la relación calidad-precio. Asimismo, se muestran en un cuadro comparativo las distintas características tanto de la tarjeta de adquisición de datos (TAD) como de los dispositivos oficiales de medición de gases. (Ver Tabla 19)

En dicha tabla, se puede observar que, en términos de rango de medición, el dispositivo PCE-AQD 50 tiene el rango más amplio para la medición de CO₂. Asimismo, el dispositivo PCE-GA 12 tiene la capacidad de medir varios gases diferentes, mientras que los otros dispositivos se centran en la medición de un gas específico incluyendo la TAD con tecnología Arduino. Por otro lado, en cuanto a la alimentación, los dispositivos PCE-AQD 50 y MAX-iAQ System tienen la opción de usar baterías recargables, lo que los hace más portátiles que los otros dispositivos que requieren una fuente de alimentación conectada. No obstante, estos últimos dispositivos, como la TAD con tecnología Arduino y el Thermo Scientific 410iQ, pueden ser más adecuados para su uso en entornos de laboratorio o en aplicaciones donde se dispone de una fuente de alimentación constante.

Asimismo, en términos de duración de la batería, se sabe que el dispositivo PCE-AQD 50 tiene una batería de iones de litio recargable de 7.4V DC / 3400 mAh, que proporciona una duración de la batería de alrededor de 8 horas. Por último, referente a las alarmas, la mayoría de los dispositivos tienen alarmas para alertar al usuario cuando se detecta una concentración peligrosa de gases; este es un requisito indispensable para las aplicaciones de monitoreo y detección.

En resumen, cada dispositivo de medición de gases tiene sus propias características y ventajas, y la elección del dispositivo adecuado dependerá de las necesidades específicas de medición de gases del usuario, así como de las características y el presupuesto deseados. Es importante considerar la precisión de la medición, la portabilidad, la velocidad de la medición, la duración de la batería y la presencia de alarmas al elegir un dispositivo de medición de gases adecuado para una aplicación específica.

Cabe destacar que a los dispositivos con un asterisco (*) en el apartado de precio, no ha sido posible conseguir el precio específico de su producto debido al protocolo de las páginas Web correspondientes que piden como requisito agregar la empresa en la que trabaje el cliente, además de su información de contacto.

Tabla 19. Comparación de las características de distintos dispositivos de medición de gas.

DISPOSITIVO	EMPRESA	ALIMENTACIÓN	GASES MEDIDOS	RANGO GAS	TIPO DE SENSOR	RANGO TEMP. Y HUM.	ALARMA	PRECIO (\$)
TAD con tecnología Arduino	-	110-240 VAC convertidos a 7.5V DC	GN CO ₂	(0-10000)ppm (0-1000)ppm	Electroquímico	(0-50) C° (20-90) %RH	SÍ	88
Medidor de gas PCE-AQD 50	PCE Instruments	Li-Ion de 7,4 V DC / 3400 mAh o 12 V DC por adaptador	CO ₂	(0-40000)ppm	filtro óptico Infrarrojo no Dispersivo (NDIR)	(0-50) C° (0-100) %RH	SÍ	422.5
Medidor de gas PCE-GA 12	PCE Instruments	Acumulador Polímero Li-Ion 18500 3,7 V o 5 V, 1 A por adaptador	Acetaldehído, Amoniaco, Benceno, Etano, Etanol, Etileno, Formaldehído, Hexano, Isobutano (metilpropano), Metano, Propano, Xileno, Sulfuro de hidrógeno, Tolueno, Hidrógeno	(0-1000)ppm (Metano) (0-10000)ppm resto de gases	Sonda semirígida	-	SÍ	208.5
Thermo Scientific 410iQ	ThermoFisher Scientific	100-240 VAC 50/60 Hz, 275 Watts	CO ₂	(0-10000)ppm	NDIR	-	NO	*
MAX-iAQ System	ThermoFisher Scientific	208-240VAC, 50-60Hz, 12ª max	Aire del ambiente	10 – 100+ compuestos de hasta 20 ubicaciones de muestra	Detector DTGS	-	NO	*
Serie BW Clip	Honeywell	Batería	H ₂ S CO O ₂ SO ₂	0-100 ppm 0.300 ppm 0-25% 0-100ppm	Sensor de depósito doble	5-95 %RH	SÍ	489

Fuente: Reyes (2023).

Elaborado por: Reyes (2023).

CONCLUSIONES

Una vez concluidas cada de una de las fases propuestas para la presente investigación, se tienen las siguientes conclusiones. En cuanto a la identificación de los procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación; en Venezuela se tiene que las industrias más influyentes, son la petrolera, gasífera, carbonífera y eléctrica, así como los sectores del transporte, construcción, forestal, agropecuario y del manejo de los desechos sólidos. En cuanto a las emisiones de CO₂ de las plantas térmicas de generación de electricidad y calor, estas provienen de la combustión del gas natural, gasoil y fuel oil. Asimismo, cada una de estas industrias posee su propio sistema de prevención de siniestros producidos por fugas de gases, ya sea por dispositivos fijos o portátiles.

Por otro lado, se lograron establecer los niveles de emisión de dióxido de carbono CO₂ y gas natural GN permitidos por los organismos regulatorios de emanación de estos gases; teniendo que, en el caso del metano (principal componente del GN), el límite de inferior de explosividad del gas es de 50.000 ppm, mientras que el límite superior de 150.000 ppm; por lo que, el gas natural es explosivo únicamente en este rango de concentración. En cuanto al CO₂, se obtuvo que el límite de exposición permisible para exposiciones diarias en el lugar de trabajo es de 5.000 ppm, lo cual indica condiciones de aire inusuales donde podría producirse toxicidad o privación de oxígeno.

Asimismo, se determinaron los componentes de la tarjeta de adquisición de datos para la medición y generación de alarmas en los niveles de dióxido de carbono CO₂ y gas natural GN. Utilizando tres sensores, el MQ-5 para la medición de GN, el MQ-135 para la medición de CO₂ y el DHT11 como sensor de humedad y temperatura, para corregir las lecturas de los sensores MQ al ser la salida de estos sensible a las variaciones de estas condiciones ambientales. Para la visualización de los valores de concentración de GN, CO₂, humedad y temperatura fue utilizada una pantalla LCD I2C y la interfaz gráfica en la computadora realizada con el lenguaje de programación Python. Por último, para la generación de alarmas en los tres niveles de seguridad (seguro, sospechoso y peligroso) se utilizaron tres Led's, la pantalla LCD mencionada anteriormente y la interfaz gráfica como alarmas visuales, mientras que con un buzzer pasivo se incorporó una alarma sonora.

Posteriormente, a la realización de estas tres fases se diseñó la tarjeta de adquisición de datos con tecnología Arduino, tomando en cuenta tanto los niveles establecidos en la fase II como

la programación de cada uno de los componentes determinados en la fase III. Desglosando el diseño de la tarjeta en las siguientes etapas: calibración de los sensores empleando las curvas de sensibilidad de los mismos, lectura de los sensores, la corrección de esta última de acuerdo a la humedad y temperatura del ambiente utilizando el sensor DHT11 y las curvas de influencia de humedad y temperatura de los sensores, conversión de la salida de los sensores a valores de concentración en ppm, visualización de los valores, generación de las alarmas y el diseño físico de la tarjeta de adquisición de datos.

Por otra parte, se logró el desarrollo de una interfaz gráfica que muestre los niveles de gases emitidos y alarme al operador en caso de anomalías de estos valores haciendo uso del lenguaje de programación Python, específicamente la librería Tkinter. Adicionando a la interfaz un sistema de Log In para el usuario que emplee la tarjeta de adquisición de datos. Cabe destacar, que la transmisión de los datos que salen de la tarjeta de adquisición de datos a la interfaz gráfica se realiza por medio del puerto serial, utilizando la conexión USB del computador. La obtención de estos datos y su posterior decodificación y lectura por el código de Python permiten hacer la comparación de los umbrales de niveles de seguridad de las concentraciones de gases, y la posterior emisión de alarmas a través de la interfaz gráfica de usuario.

Finalmente, una vez terminada la propuesta se evaluó el costo de la implementación del sistema prototipo; además, se comparó el precio de este con otros dispositivos detectores de gases existentes. Los cuales en su mayoría tenían mayor rango de detección que la tarjeta de adquisición de datos; sin embargo, estos representan un gasto mucho mayor. Concluyendo que, cada dispositivo de medición de gases tiene sus propias características y ventajas, y la elección del dispositivo adecuado dependerá de las necesidades específicas de medición de gases del usuario, así como de las características y el presupuesto deseados. Es importante considerar la precisión y velocidad de la medición y la presencia de alarmas al elegir un dispositivo de medición de gases adecuado para una aplicación específica.

RECOMENDACIONES

De esta investigación pueden desprenderse un importante y significativo número de recomendaciones, que pueden abarcar en sus aspectos más generales como la mayor promoción de investigaciones científicas en el orden de la tecnología con propósitos ambientales, pero, fundamentalmente en este trabajo, en virtud de los resultados obtenidos y de la problemática planteada, la autora realiza las siguientes recomendaciones.

Inicialmente, se recomienda el uso de sensores con mayor rango de detección de gases, los cuales permitan monitorear con mayor seguridad y precisión los niveles de emisión de gases como el GN y el CO₂ en los procesos industriales. En caso de utilizar los módulos de sensores MQ, es recomendable sustituir la resistencia R1 soldada al módulo de 1 k Ω por una de 20 k Ω , con el objetivo de aumentar la precisión de las lecturas de los gases.

Asimismo, es necesario ampliar la base de proyectos asociados a este tipo de tecnología a fin de que otras investigaciones la complementen en aspectos como la incorporación tanto de la transmisión de datos a la interfaz gráfica vía Wifi-Bluetooth, como del diseño de alimentación portátil empleando baterías recargables, o la tecnología que mejor se adapte al dispositivo.

Por último, dada la grave crisis ambiental que vive el mundo, se recomienda promover, desarrollar, aplicar y emplear este tipo de tecnología, ya que esta no solo supone el beneficio de los usuarios y/o industrias que busquen aplicarlo para prevención de accidentes, sino también, por el impacto ecológico que su uso genera al monitorear con mayor intensidad las concentraciones de gases GEI que se pueden estar generando.

REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2022). **Emisiones de dióxido de carbono**. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>
- Agüero M. (2017). **Sistema de adquisición de datos**. Recuperado de: <http://materias.df.uba.ar/mta2019c1/files/2014/08/Adquisicion-de-datos-Agüero.pdf>
- Aplicaciones de detectores fijos de gas: Almacenamiento de gases**. Siafa SRL. Recuperado de: <https://siafa.com.ar/notas-tecnicas/aplicaciones-de-detectores-fijos-de-gas-almacenamiento-de-gases>
- Arduino Uno**. (2022, 20 de diciembre). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino_Uno&oldid=148031703
- Arias, F. (2006). **El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica**. 5^o edición. Caracas. Episteme C. A.
- Barragán, Suárez (2002). **Puertos USB – Bus Serie Universal y descripción de la norma IEEE 1394**. Recuperado de: http://platea.pntic.mec.es/~alopez1/web_Eldad/_gs_srca/CI/Puertos%20USB.pdf
- Barrero, J., Higuera, J., Chacón, J. (2005). **Sistema de adquisición de datos por bus USB**. Revista UIS Ingenierías, Vol. 4, N°. 1, 2005. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6299823>
- Borjas, O., (2017). **Unidad maestra de recolección de datos para un sistema de inyección de preformas**. Télématique, 16(2), 120-140. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78457361007>
- Buzzer pasivo (KY-006) y activo (KY-012)** (2021, 9 de agosto). El Octavo Bit. Recuperado de: <https://eloctavobit.com/arduino/buzzer-pasivo-ky-006-y-activo-ky-012/>
- BW Clip Serie** (s.f.) Honeywell. Recuperado de <https://sps.honeywell.com/mx/es/products/safety/gas-and-flame-detection/portables/bw-clip-series>
- Cabarcas, J., Turizo, A. (2020). **Medición de la huella de carbono en la facultad de ingeniería utilizando una aplicación móvil integrada con tecnología IOT**. [Trabajo de grado, Universidad del Sinú]. Recuperado de:

<http://repositorio.unisinucartagena.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/49/MEDICI~1.PDF?sequence=1>

Coloma, D. (2016, 29 de marzo). **Accidente industrial por la fuga de gases licuados**. Recuperado de: <https://prezi.com/gqbdm0lgxlkx/accidente-industrial-por-la-fuga-de-gases-licuados/>

Cómo controlar un carácter I2C LCD con Arduino. Makerguides. Recuperado de:

<https://www.makerguides.com/es/character-i2c-lcd-arduino-tutorial/>

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Art. 107. Capítulo IX De los derechos ambientales Art. 127, 128 y 129.

Domínguez, T. (2022) **Desarrollo de Interfaces Gráficas en Python 3 con Tkinter**. 1° edición. Madrid. Alpha Editorial S. A.

FONDONORMA de la República Bolivariana de Venezuela COVENIN 2253:2001. (2001, 31 de octubre). Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición. Recuperado de: https://www.medicinalaboraldevenezuela.com.ve/archivo/covenin/aire-ventilacion/2253-2001_Concentraciones_ambientales_de_sustancias_quimicas.pdf

Freytes, M. (2021). **Diseño de una tarjeta de adquisición de datos para control supervisorio y diagnóstico en procesos de múltiples lazos usando Java como interfaz gráfica**. [Trabajo de grado, Universidad José Antonio Páez].

Frohmann, A., Olmos, X. (2013). **Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático**. Documento de proyecto. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado de: [Microsoft Word – La huella FINAL rev 2 \(cepal.org\)](#)

Gas industrial. (2022, 21 de enero). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de:

https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_industrial

González, Y., Pérez, J. y Dunia, E. (2017). **Diseño de un sistema de adquisición y procesamiento de datos con el uso de multisensores para laboratorios de física universitarios**. Revista INGENIERÍA UC, vol. 25, núm. 1, 2018. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/707/70757668010/html/>

Guía N° 3: Elaboración del Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero – Sector

Procesos Industriales y Uso de Productos. (s.f). Ministerio del Ambiente. Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales. Dirección Generalde Cambio

- Climático, Desertificación y Recursos Hídricos. Recuperado de: https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/06/Guia-N%c2%ba-3_Procesos-Industriales-y-Uso-de-Productos.pdf
- ISO 45001** (s.f). Normas ISO. Recuperado de: <https://www.normas-iso.com/iso-45001/>
- Leyto C. (2021, 11 de abril). **¿Qué es una interfaz gráfica y sus tipos?** Recuperado de: <https://aleph.org.mx/que-es-una-interfaz-grafica-y-sus-tipos#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20interfaz%20grafica%20y%20para%20qu%C3%A9,la%20informaci%C3%B3n%20y%20acciones%20disponibles%20en%20la%20interfaz>
- Llamas, L. (2016, 21 de octubre). **Detector de gases con Arduino y la familia de sensores MQ.** Recuperado de: <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>
- Martin, L. (2017, 21 de julio). **Cómo medir la energía eléctrica.** Puro motores. Recuperado de: <https://www.puromotores.com/13140239/como-medir-la-energia-electrica>
- MAX-iAQ Continuous Ambient Air Monitoring System** (s.f.) ThermoFisher Scientific. Recuperado de <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/101-0386>
- Medidor de gas PCE-AQD 50** (s.f.) PCE Instruments. Recuperado de <https://www.pce-instruments.com/espanol/api/getartfile? fnr=2314673& dsp=inline>
- Medidor de gas PCE-GA 12** (s.f.) PCE Instruments. Recuperado de <https://www.pce-instruments.com/espanol/api/getartfile? fnr=2314115& dsp=inline>
- Módulo Convertidor de USB a Serial TTL CP2102.** (s.f). Carrod Electrónica Online. Recuperado de: <https://www.carrod.mx/products/modulo-convertidor-de-usb-a-serial-ttl-cp2102>
- MÓDULO CP2102 CONVERSOR USB A SERIAL TTL.** (s.f). Naylamp Mechatronics SAC. Recuperado de: <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/79-modulo-cp2102-conversor-usb-a-serial-ttl.html>
- Moore, D. (2020, 8 de junio). **Niveles de gases aceptables y peligrosos en espacios confinados.** Industrial Scientific. Recuperado de: <https://www.indsci.com/es/blog/niveles-de-gas-aceptables-y-peligrosos-en-espacios-confinados>
- Mora H. (2011). **Sistemas de adquisición y Procesamiento de datos.** Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>

Otro incendio en refinería de “El Palito”. (2021, 13 de noviembre). Primera Edición COL.

Recuperado de: <https://primeraedicioncol.com/otro-incendio-en-refineria-de-el-palito/>

Palella y Martins (2012). **Metodología de la Investigación Cuantitativa**. 3ra ed. Caracas: Fedupel.

Pantalla de cristal líquido. (2023, 16 de febrero). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_de_cristal_l%C3%ADquido

Pedreiros A. (2012). **Sistema de adquisición de datos y control de la práctica de laboratorio movimiento uniforme y uniformemente acelerado del laboratorio Physilab** [Trabajo de grado, Universidad Católica de Pereira]. Recuperado de: <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/1473/1/CDMIST58.pdf>

Python. (2023, 5 de junio). Wikipedia, La enciclopedia libre. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Python>

Rodríguez, E. (2022). **Situación socioambiental de Venezuela 2021**. Informe de análisis. Observatorio de Ecología Política de Venezuela. Recuperado de: https://www.ecopoliticavenezuela.org/wp-content/uploads/2022/03/Situacio%CC%81n-socioambiental-de-Venezuela-2021_ConsolidadoFinal.pdf

Salazar J. (s.f). **Redes inalámbricas**. TechPedia. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf

Sánchez, J. (2019, 3 de abril). **El impacto medioambiental del dióxido de carbono**. Ecología verde. Recuperado de: https://www.ecologiaverde.com/el-impacto-medioambiental-del-dioxido-de-carbono-1334.html#anchor_1

Sánchez L. (2017). **Diseño de un sistema de adquisición de datos y control de un banco de pruebas para reguladores de gas**. [Trabajo de grado, Universidad Central de Venezuela]. Recuperado de: <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/20085/1/Tesis.pdf>

Sensor calidad aire MQ-135 (s.f). Altronics. Recuperado de: <https://altronics.cl/sensor-calidad-aire-mq-135>

Sensor de gas natural MQ-5 (s.f). Tostatronic Shop. Recuperado de: <https://www.tostatronic.com/product/sensor-de-gas-natural-mq-5/>

Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11. Naylamp Mechatronics SAC. Recuperado de: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>

Sesión 9. Introducción a Swing. (s.f). Recuperado de:

<http://www.jtech.ua.es/historico/plj/restringido/ejercicios/sesion09/sesion09.html>

Sierra, C. (2004). **Estrategias para la Elaboración de un Proyecto de Investigación.** 1° edición. Maracay. Insertos Médicos de Venezuela C. A.

Venezuela – Emisiones de CO₂ (2021). Datosmacro.com. Recuperado de: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/venezuela>

Usuario Agencia Reforma (2019, 30 de julio). **CO₂: Los peligros que representa la concentración de dióxido de carbono en una casa.** The Dallas *Morning News*. Recuperado de: [CO₂: Los peligros que representa la concentración de dióxido de carbono en una casa \(dallasnews.com\)](https://www.dallasnews.com/news/energy-environment/2019/07/30/co2-los-peligros-que-representa-la-concentracion-de-dioxido-de-carbono-en-una-casa/)

Usuario TalCual (2022, 17 de enero). **Pdvsa corre el riesgo de ser sancionada por su alta emisión de gases contaminantes.** Correo del Caroní. Recuperado de: <https://correodelcaroni.com/sociedad/ambiente/pdvsa-corre-el-riesgo-de-ser-sancionada-por-su-alta-emision-de-gases-contaminantes/>

Villamizar, A., Buroz, E., Lairet, R., y Gómez, J. (2018). **Primer Reporte Académico de Cambio Climático 2018: Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Primer Reporte Académico de Cambio Climático (PRACC) de la Secretaría Académica de Cambio Climático (SACC) de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) de Venezuela.** ACFIMAN-SACC.

Zambrano, M. (2020, 15 de agosto). **Fuga de gases en refinería el palito ocasionó cierre de autopista puerto Cabello-Morón.** Primera Edición COL. Recuperado de: <https://primeraedicioncol.com/fuga-de-gases-en-refineria-el-palito-ocasiono-cierre-de-autopista-puerto-cabello-moron/>

410iQ Carbon Dioxide Gas Analyzer (s.f.) ThermoFisher Scientific. Recuperado de <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/410IQ>

ANEXOS

ANEXO A

HANWEI ELECTRONICS CO.,LTD

MQ-5

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA

MQ-5 GAS SENSOR

FEATURES

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

APPLICATION

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

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
P _L	Load resistance	20K Ω	
R _H	Heater resistance	31 ± 10%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

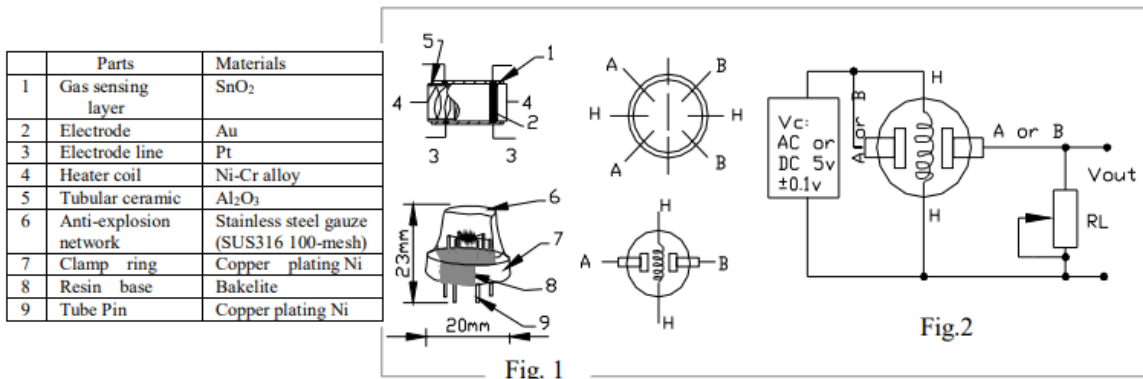
B. Environment condition

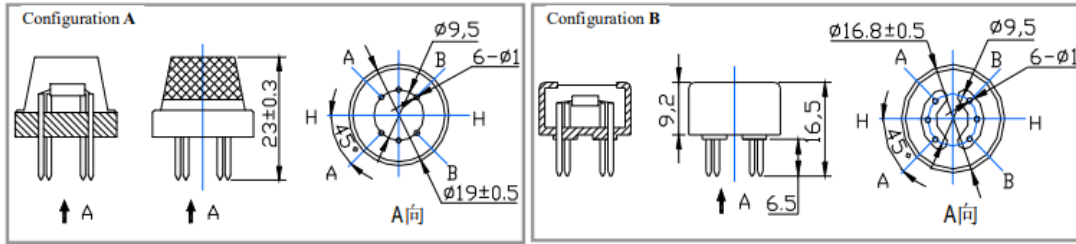
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10°C-50°C	
T _{as}	Storage Tem	-20°C-70°C	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R _s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (5000ppm methane)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm LPG,LNG Natural gas, iso-butane, propane Town gas
α (5000ppm/1000ppm CH ₄)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20°C ± 2°C Humidity: 65%±5%	V _c :5V±0.1 V _h : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Strucyure and configuration, basic measuring circuit





Structure and configuration of MQ-5 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by
 TEL: 86-371-67169070 67169080 FAX: 86-371-67169090 E-mail: sales@hwsensor.com

HANWEI ELECTRONICS CO.,LTD MQ-5 <http://www.hwsensor.com>
 micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-5 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

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

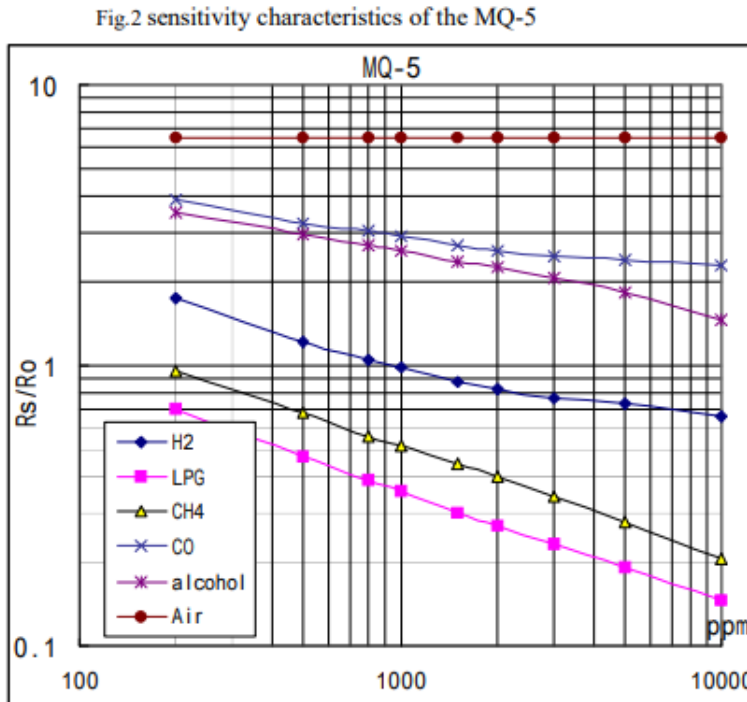


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-5 for several gases.
 in their: Temp: 20°C,
 Humidity: 65%,
 O₂ concentration 21%
 RL=20k Ω
 Ro: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in the clean air.
 Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

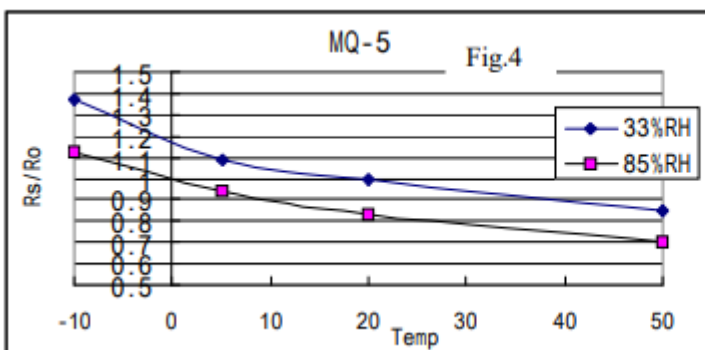


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-5 on temperature and humidity.
 Ro: sensor resistance at 1000ppm of H₂ in air at 33%RH and 20 degree.
 Rs: sensor resistance at different temperatures and humidities.

ANEXO B

HANWEI ELECTRONICS CO.,LTD

MQ-135

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA

MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope
Stable and long life

Fast response and High sensitivity
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃,NO_x, alcohol, Benzene, smoke,CO₂,etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

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

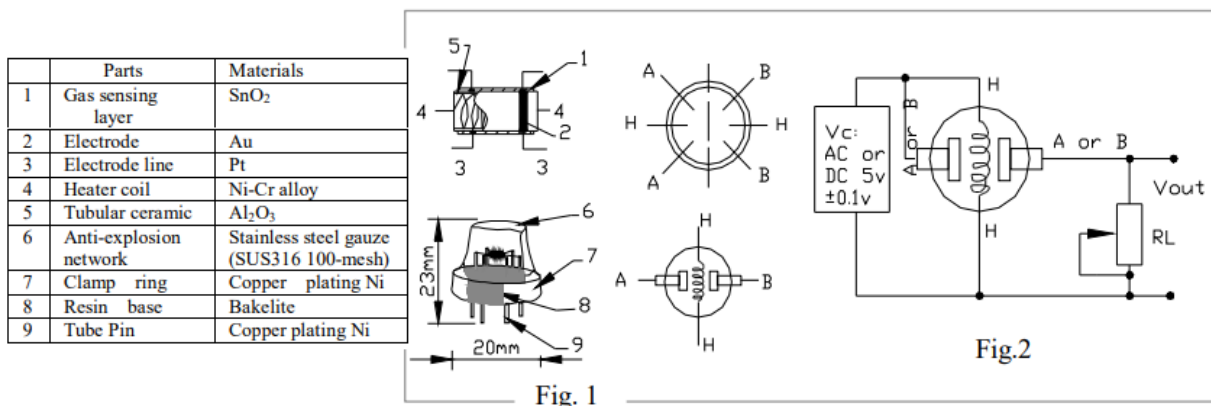
B. Environment condition

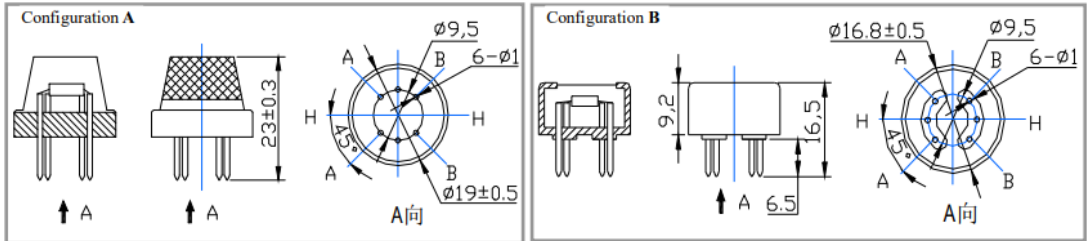
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Tao	Using Tem	-10℃-45℃	
Tas	Storage Tem	-20℃-70℃	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	30K Ω -200K Ω (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope: 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20℃ ± 2℃ Humidity: 65%±5%	V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit





Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of

TEL: 86-371-67169070 67169080

FAX: 86-371-67169090

E-mail: sales@hwsensor.com

HANWEI ELECTRONICS CO.,LTD

MQ-135

<http://www.hwsensor.com>

sensitive components. The enveloped MQ-135 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

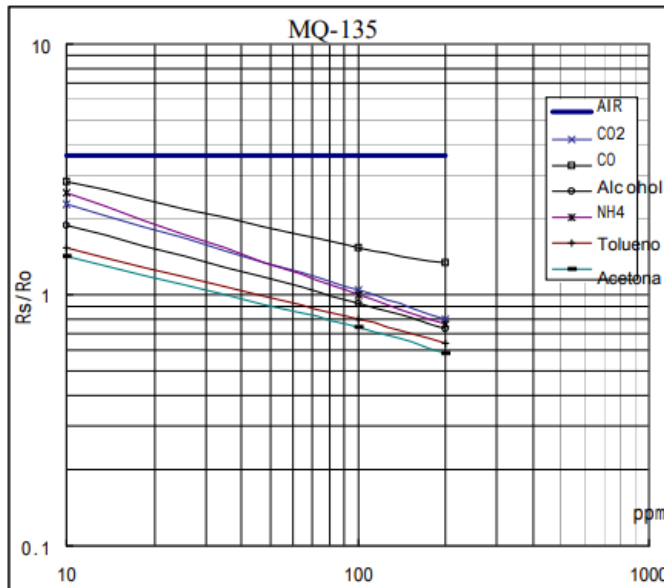


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases.

in their: Temp: 20°C、
Humidity: 65%、
O₂ concentration 21%
RL=20k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in the clean air.
Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

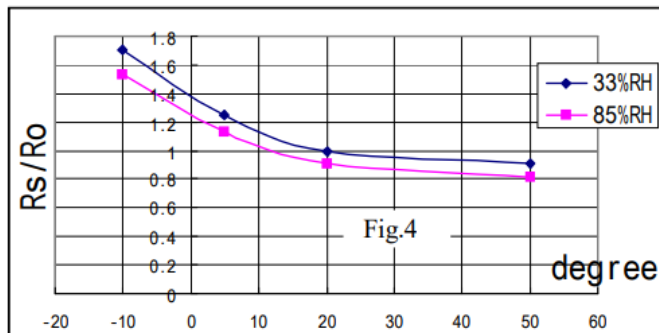


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity.

Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in air at 33%RH and 20 degree.

Rs: sensor resistance at 100ppm of NH₃ at different temperatures and humidities.

ANEXO C



For more products visit our website <http://www.sunrom.com>

Document: Datasheet

Date: 20-Jun-12

Model #: 3732

Product's Page: www.sunrom.com/p-1141.html

DHT11 - Humidity and Temperature Sensor

The DHT11 is a basic, low-cost digital temperature and humidity sensor. It uses a capacitive humidity sensor and a thermistor to measure the surrounding air, and spits out a digital signal on the data pin (no analog input pins needed).

Its fairly simple to use, but requires careful timing to grab data. The only real downside of this sensor is you can only get new data from it once every 2 seconds.

Features

- Full range temperature compensated
- Relative humidity and temperature measurement
- Calibrated digital signal
- Outstanding long-term stability
- Extra components not needed
- Long transmission distance
- Low power consumption
- 4 pins packaged and fully interchangeable



Details

This sensor includes a resistive-type humidity measurement component and an NTC temperature measurement component, and connects to a high-performance 8-bit microcontroller, offering excellent quality, fast response, anti-interference ability and cost-effectiveness. Each DHT11 element is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process.

The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package.

Specifications

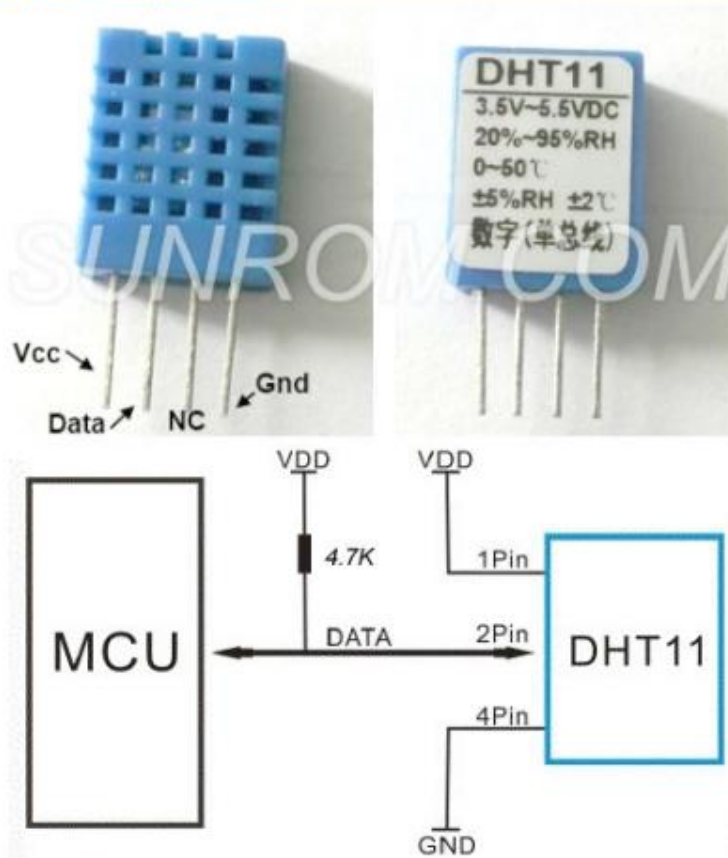
Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	± 5%RH	± 2°C	1	4 Pin Single Row

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			± 1%RH	
Accuracy	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			± 1%RH	
Long-Term Stability	Typical		± 1%RH/year	

Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			± 1°C	
Accuracy		± 1°C		± 2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3	5	5.5	V
Current supply	Measuring	0.5		2.5	mA
	Stand-by	100	Null	150	uA
	Average	0.2	Null	1	mA

Typical Application



DHT11's power supply is 3-5.5V DC. When power is supplied to the sensor, do not send any instruction to the sensor in within one second in order to pass the unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

APÉNDICES

APÉNDICE A



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encarga de aplicar el cuestionario

N°	Guión de entrevista
1	¿Qué tipo de gas utiliza la empresa en sus procesos?
2	¿Qué método utiliza la empresa para la prevención y detección temprana de fugas de gas?
3	En el caso anterior, ¿Qué tipo de accidentes ha tenido la empresa por esta causa?
4	¿En caso de tenerlas, qué alarmas se activan al momento de dichas fugas?
5	¿Qué métodos utiliza la empresa para la medición de GN y/o CO ₂ en sus procesos?
6	¿Qué metodología utiliza la empresa para llevar un registro del GN y CO ₂ emanados al ambiente?
7	En caso de tenerla, ¿Por cuál norma se rige la empresa para controlar los niveles de gases emanados a la atmósfera?

APÉNDICE B



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ESTIMADO PROFESOR (A):

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en las Empresas “CVG ALUCASA”, “Alice Neumáticos de Venezuela C.A.” y “Planta de Autobuses Yutong Venezuela S.A.” para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: “Identificar procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación”, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR (A):

Reyes, María
C.I.: 29.978.170

TUTOR:

Pérez, José
C.I.: 8.829.908



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA	
<ul style="list-style-type: none">• Indique su función dentro de la empresa• Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas• Responda de manera objetiva• En caso de dudas, consulte con la persona encargada de aplicar el cuestionario	

N°	Guión de entrevista
1	¿Qué tipo de gas utiliza la empresa en sus procesos?
2	¿Qué método utiliza la empresa para la prevención y detección temprana de fugas de gas?
3	En el caso anterior, ¿Qué tipo de accidentes ha tenido la empresa por esta causa?
4	¿En caso de tenerlas, qué alarmas se activan al momento de dichas fugas?
5	¿Qué métodos utiliza la empresa para la medición de GN y/o CO ₂ en sus procesos?
6	¿Qué metodología utiliza la empresa para llevar un registro del GN y CO ₂ emanados al ambiente?
7	En caso de tenerla, ¿Por cuál norma se rige la empresa para controlar los niveles de gases emanados a la atmósfera?



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

Fecha: 26/01/2023

Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	
--	--



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ESTIMADO PROFESOR (A):

Alicia de Páez

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en las Empresas “CVG ALUCASA”, “Bridgestone Firestone C.A.” y el llenadero de gas en Carabobo de la empresa PDVSA, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: “Identificar procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación”, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR (A):

Reyes, María

C.I.: 29.978.170

TUTOR:

Pérez, José

C.I.: 8.829.908



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
 UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	X			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		
7	X			X		
8						
9						

Fecha: 27/01/2023


 Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	<p><i>Jug Mecánica Magnética Educativa</i></p>
--	--



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ESTIMADO PROFESOR (A): *Gerson Sanchez*

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en las Empresas “CVG ALUCASA”, “Bridgestone Firestone C.A.” y el llenadero de gas en Carabobo de la empresa PDVSA, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: “Identificar procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación”, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR (A):

Reyes, María

C.I.: 29.978.170

TUTOR:

Pérez, José

C.I.: 8.829.908



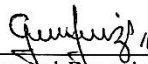
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	X			X		
2	X			X		
3	X			X		
4	X			X		
5	X			X		
6	X			X		
7	X			X		
8						
9						

Fecha: 26/01/2023


Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	Ingeniero especialista en Automatización, Instrumentación Industrial.
--	---



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ESTIMADO PROFESOR (A): *FREDDY BARRASÁN*

Seguidamente se le presenta un guión de entrevista que va dirigido a un panel de expertos de diferentes áreas de trabajo en las Empresas “CVG ALUCASA”, “Bridgestone Firestone C.A.” y el llenadero de gas en Carabobo de la empresa PDVSA, para un total de tres (03) personas; las respuestas que se obtendrán de la aplicación de este instrumento de recolección de datos va a permitir dar respuesta al objetivo específico número uno (01) de la investigación, que se denomina: “Identificar procesos industriales que involucran el empleo de dióxido de carbono CO₂ y el gas natural GN como fuente de consumo o generación”, de tal manera que permita obtener información de una fuente confiable. Por lo que se solicita a usted de sus buenos oficios para la validación de este instrumento dada su formación académica y experiencia en el ramo industria y académico.

A tal efecto se anexa el cuadro técnico metodológico, el guión de entrevista y el formato de validación.

AUTOR (A):

Reyes, María

C.I.: 29.978.170

TUTOR:

Pérez, José

C.I.: 8.829.908



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO (GUIÓN DE LA ENTREVISTA)

Coloque con una (X), en la alternativa que corresponda según opinión sobre los aspectos planteados, anote las observaciones que considere necesario en el recuadro destinado para ello.

Ítems	Redacción de Ítems			Pertinencia de los objetivos		Observaciones
	Clara	Confusa	Tendenciosa	Pertinente	No pertinente	
1	✓			✓		
2	✓			✓		
3	✓			✓		
4	✓			✓		
5	✓			✓		
6	✓			✓		
7	✓			✓		
8						
9						

Fecha: 27/01/2023

Firma del Especialista:

Breve descripción del perfil académico del Especialista:	ING. MECÁNICO ESP. EN AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS DR. EN EDUCACIÓN
--	---

APÉNDICE C

Lista de cotejo

PARTE I									
Tiempo (s)	t = 0	t = 5	t = 10	t = 15	t = 20	t = 25	t = 30	t = 35	t = 40
Concentración medida (ppm)									
Nivel de seguridad									
PARTE II									
Parámetros a Evaluar							SÍ	NO	
1. ¿En el nivel de concentración segura se enciende el LED verde de la tarjeta de adquisición de datos?									
2. ¿En el nivel de concentración segura la alarma de la tarjeta de adquisición de datos se mantiene apagada?									
3. ¿En el nivel de concentración sospechoso se enciende el LED amarillo de la tarjeta de adquisición de datos?									
4. ¿En el nivel de concentración sospechoso se enciende la alarma simple de la tarjeta de adquisición de datos?									
5. ¿En el nivel de concentración peligroso se enciende el LED rojo de la tarjeta de adquisición de datos?									
6. ¿En el nivel de concentración peligroso se enciende la sirena de la tarjeta de adquisición de datos?									
7. ¿Se visualizan las mediciones de la tarjeta de adquisición de datos en la pantalla LCD?									
10. ¿El dispositivo transmite los mensajes de alarma al operador en niveles de seguridad sospechoso y peligroso?									

Fuente: Reyes (2022).

Elaborado por: Reyes (2022).

APÉNDICE D
ENTREVISTA CVG ALUCASA



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Indique su función dentro de la empresa • Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas • Responda de manera objetiva • En caso de dudas, consulte con la persona encarga de aplicar el cuestionario |
|--|

Wilkar Leonardo Díaz Aries- Superintendente de seguridad ambiental y salud laboral

N°	Guión de entrevista
1	<p>¿Qué tipo de gas utiliza la empresa en sus procesos?</p> <p>Mayormente se usa GN para los hornos de fundición y CO₂ para el sistema de extinción de incendio de los laminadores; para esto último, la empresa cuenta con dos tanques de CO₂ de 10.000 kg, uno de 6.000 kg y otro de 8.000 kg.</p>
2	<p>¿Qué método utiliza la empresa para la prevención y detección temprana de fugas de gas?</p> <p>Se lleva a cabo todo lo establecido en el programa de seguridad referente a inspecciones, estas se realizan de manera mensual. Utilizando un explosímetro Altair 5X de la marca MSA The Safety Company, que mide concentraciones mínimas de oxígeno y gas natural. El equipo se pasa por toda la red de tuberías de gas de los tanques y las válvulas, así como de las tuberías del área del comedor. El explosímetro emite alarmas sonoras. Además de las inspecciones mensuales se realizan inspecciones adicionales posterior a un movimiento telúrico.</p> <p>En referencia a los tanques de CO₂ del sistema contra incendios de laminador, estos requieren seis inspecciones diarias. Esta inspección se realiza tres veces en el turno diurno y tres en el turno nocturno. Para detectar una posible fuga del CO₂, se monitorea</p>

	<p>el volumen del tanque; de manera que, si existe una pérdida constante y fluida de volumen es por una posible fuga.</p>
3	<p>En el caso anterior, ¿Qué tipo de accidentes ha tenido la empresa por esta causa?</p> <p>No se ha producido ningún accidente por fugas de gas, esto gracias a las inspecciones realizadas con el explosímetro. Asimismo, si se produce una fuga repentina, se controla por el sistema de válvulas de las tuberías.</p> <p>Sin embargo, se han producido descargas accidentales de CO₂; ya que, si ocurre algún tipo de impericia por parte de algún operador, del personal de seguridad o de mantenimiento, produciendo un cortocircuito el sistema contra incendio se activa y descarga de manera accidental alrededor de 1.500 kg de CO₂.</p>
4	<p>¿En caso de tenerlas, qué alarmas se activan al momento de dichas fugas?</p> <p>Se solían tener detectores de gases en el área del comedor que emitían alarmas sonoras al momento de producirse las fugas; no obstante, debido a un incidente durante el mantenimiento de dicha área, los detectores se mojaron provocando un cortocircuito y se dañaron. Por otro lado, la única alarma en la planta es la generada por sobrepresión en los tanques de CO₂, activando la válvula de seguridad de emergencia para liberar un poco de la presión para estabilizar internamente el tanque.</p>
5	<p>¿Qué métodos utiliza la empresa para la medición de GN y/o CO₂ en sus procesos?</p> <p>El GN con el explosímetro durante las inspecciones y el CO₂ por el volumen de los tanques.</p>
6	<p>¿Qué metodología utiliza la empresa para llevar un registro del GN y CO₂ emanados en el ambiente?</p> <p>Al detectar una fuga, se genera una condición insegura del área, hasta que se pueda solucionar la misma; de lo contrario, el área afectada queda fuera de servicio. Estas fugas se incluyen en los reportes mensuales según los indicadores de la empresa; tanto de GN como de CO₂</p>
7	<p>En caso de tenerla, ¿Por cuál norma se rige la empresa para controlar los niveles de gases emanados a la atmósfera?</p> <p>La empresa se encuentra vigente con todas las normas ambientales venezolanas, los requerimientos de la Alcaldía y el certificado de conformidad de los bomberos de Guacara, los cuales realizan una inspección anual. Además, la empresa solía tener la certificación con la norma internacional ISO 14-001; sin embargo, no fue posible mantenerla.</p>

APÉNDICE E
EXPLOSÍMETRO UTILIZADO EN CVG ALUCASA



APÉNDICE F

ENTREVISTA ALICE NEUMÁTICOS DE VENEZUELA C.A.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encarga de aplicar el cuestionario

Giolberti Rodríguez- Jefe de Servicio General y Prevención de Incendios

Nº	Guión de entrevista
1	¿Qué tipo de gas utiliza la empresa en sus procesos? CO ₂ para el sistema de prevención de incendios y GN para las calderas y el comedor.
2	¿Qué método utiliza la empresa para la prevención y detección temprana de fugas de gas? Inspección de las tuberías de GN por PDVSA y medición de presión de las tuberías de este gas. Chequeo visual de los cilindros de CO ₂ utilizados en el sistema de prevención de incendios.
3	En el caso anterior, ¿Qué tipo de accidentes ha tenido la empresa por esta causa? No (en los seis años que lleva en la empresa).
4	¿En caso de tenerlas, qué alarmas se activan al momento de dichas fugas?

	<p>Se posee un sistema de detección general de planta, la cual se puede activar tanto por accionamiento manual como por detección ya sea de humo o por sensor fotoeléctrico. Este sistema se utiliza a la hora de incendios (con un umbral de temperatura) o por presencia de humo. Sin embargo, no se activan alarmas por fugas de GN.</p>
5	<p>¿Qué métodos utiliza la empresa para la medición de GN y/o CO₂ en sus procesos?</p> <p>Medición de presión de entrada y salida del GN que viene de PDVSA.</p>
6	<p>¿Qué metodología utiliza la empresa para llevar un registro del GN y CO₂ emanados en el ambiente?</p> <p>Registro de las fugas y emisiones de acuerdo a la Ley Orgánica Ambiental de Venezuela.</p>
7	<p>En caso de tenerla, ¿Por cuál norma se rige la empresa para controlar los niveles de gases emanados a la atmósfera?</p> <p>Normas ambientales venezolanas: La Ley Orgánica del Ambiente.</p>

APÉNDICE G

ENTREVISTA PLANTA DE AUTOBUSES YUTONG VENEZUELA S.A.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INSTRUCCIONES PARA LA GUIA DE ENTREVISTA

- Indique su función dentro de la empresa
- Proceda a leer detenidamente cada una de las preguntas
- Responda de manera objetiva
- En caso de dudas, consulte con la persona encarga de aplicar el cuestionario

Ing. María Brito – Gerente General de Innovación Tecnológica

N°	Guión de entrevista
1	¿Qué tipo de gas utiliza la empresa en sus procesos? Gas Natural Vehicular (GNV).
2	¿Qué método utiliza la empresa para la prevención y detección temprana de fugas de gas? Inspección con un detector de gases.
3	En el caso anterior, ¿Qué tipo de accidentes ha tenido la empresa por esta causa? Ninguno.
4	¿En caso de tenerlas, qué alarmas se activan al momento de dichas fugas? Se posee un sistema de emergencia que al accionar se cierra el pase del gas al compresor. El primer nivel de alarma debe ser lo más bajo posible, hasta 10% del límite inferior de explosión (LEL) mientras que el segundo debe ser más del 25% del LEL.

5	<p>¿Qué métodos utiliza la empresa para la medición de GN y/o CO₂ en sus procesos?</p> <p>Detector de gases.</p>
6	<p>¿Qué metodología utiliza la empresa para llevar un registro del GN y CO₂ emanados en el ambiente?</p> <p>Se llena un formato para anotar las lecturas del detector de gas.</p>
7	<p>En caso de tenerla, ¿Por cuál norma se rige la empresa para controlar los niveles de gases emanados a la atmósfera?</p> <p>Normas ambientales venezolanas: La Ley Orgánica del Ambiente.</p>