

**DESARROLLO DE UN SISTEMA MULTISENSORIAL PARA EL DIAGNÓSTICO
TEMPRANO DE ENFERMEDADES MEDIANTE TÉCNICAS NO INVASIVAS**

**FELIPE JOSE NIÑO TIRADO
FELIPE ANDRES GONZALEZ QUINTERO**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**ASESORES DISCIPLINARES:
ING. KELVIN BELEÑO SÁENZ, MSc.
ING. CARLOS DIAZ SÁENZ, PhD.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BARRANQUILLA - COLOMBIA**

2021

Nota de aceptación

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

DEDICATORIA

Principalmente, dar gracias a la universidad Autónoma del Caribe por ser nuestra Alma Mater la cual se encargó de suplir los conocimientos y herramientas que hicieron posible este proyecto, a los docentes que nos enseñaron tecnologías y nos compartieron sus conocimientos para forjar los profesionales que queremos ser, a nuestros compañeros que hicieron que nuestra estancia en la universidad estuviera llena de sana convivencia, a nuestras familias que con mucho esfuerzo nos brindaron apoyo y sustento de todo tipo durante todo el proceso académico de la carrera y por ultimo pero no menos importante a Dios que gracias a El nada podría ser posible.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE ECUACIONES	Error! Bookmark not defined.
GLOSARIO	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1. ANTECEDENTES	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. MARCO DE REFERENCIA	16
3.1. ESTADO DEL ARTE	16
3.2. MARCO TEÓRICO	19
4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.	30
4.1. METODOLOGÍA.	30
4.2. TIPO DE ESTUDIO.	31
4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO	36
5. PRESUPUESTO	37
5.1. PRESUPUESTO GENERAL	37
5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO	38
5.3. CONSULTORÍA ESPECIALIZADA	39
5.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS	39
6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	41
6.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO	41
6.1.1. Especificaciones del CAD del prototipo.	42
6.1.2. Código Prueba Arduino.	44
6.1.3. Código prueba Python.	44

6.2.	DISEÑO DISPOSITIVO FINAL	45
6.3.	MATERIALES	47
6.4.	RECOLECCIÓN DE DATOS	49
6.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
6.6.	MANUAL DE USUARIO	89
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
	BIBLIOGRAFÍA	92
	ANEXOS	Error! Bookmark not defined.

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 Vista superior de la tarjeta Arduino [31].	20
Ilustración 2 Vista de la tarjeta de Raspberry [33].	20
Ilustración 3 Vista isométrica del módulo MQ para Arduino [35].	21
Ilustración 4. Conexiones básicas del Módulo MQ.	22
Ilustración 5 Configuración básica del módulo MQ para Arduino.	23
Ilustración 6 Gráfica de las lecturas del módulo MQ en el visor serial.	23
Ilustración 7 Umbral de decisión del proceso de diagnóstico [45].	26
Ilustración 8 Etapas de la enfermedad y los momentos de su posible diagnóstico [50].	27
Ilustración 9 Flujograma del procedimiento metodológico.	35
Ilustración 10 Objetivo 1.	36
Ilustración 11 Objetivo 2.	36
Ilustración 12 Objetivo 3.	37
Ilustración 13 Alambrado de primer prototipo.	42
Ilustración 14 Vista diagonal del CAD.	42
Ilustración 15 Vista lateral del CAD con exterior transparente.	43
Ilustración 16 vista lateral del CAD con exterior transparente y bucal expuesto	43
Ilustración 17 vista superior de las tres piezas.	43
Ilustración 18 Código de prueba Arduino.	44
Ilustración 19 Código de prueba Python.	44
Ilustración 20 Imagen completa del dispositivo final.	45
Ilustración 21 Imagen de la matriz de sensores MQ del dispositivo final.	45
Ilustración 22 Imagen de las placas del dispositivo final.	46
Ilustración 23 primera pieza del prototipo	46
Ilustración 24 segunda pieza del prototipo.	46
Ilustración 25 tercera pieza del prototipo.	47
Ilustración 26 Sensores MQ usados en el proyecto.	48
Ilustración 27 Arduino NANO usado en el proyecto	48
Ilustración 28 resina de impresión 3D.	49
Ilustración 29 Gráfica característica del sensor MQ2, DataSheet 370464.	52
Ilustración 30 Icono de acceso directo al ejecutable de Webplotdigitizer.	52
Ilustración 31 Preparación del plano cartesiano en el programa de webplotdigitizer.	53
Ilustración 32 indicación de los puntos sensibles de la gráfica del sensor MQ2.	53
Ilustración 33 Gráfica de datos generados por el programa webplotdigitizer.	54
Ilustración 34 función lineal de la gráfica del sensor.	54
Ilustración 35 Términos característicos de la función lineal del sensor.	54
Ilustración 36 Conexión de los sensores para el purgado.	55
Ilustración 37 Resultado en el puerto serial de la medición del ambiente.	55
Ilustración 38 Incorporamos en el código el valor registrado en la medición.	56
Ilustración 39 Resultado de la calibración del sensor.	56
Ilustración 40 Caracterización de la gráfica del humo.	57
Ilustración 41 Caracterización de la gráfica del propano.	57
Ilustración 42 Caracterización de la gráfica del alcohol.	58
Ilustración 43 Caracterización de la gráfica del metano.	59

Ilustración 44 Caracterización de la gráfica del hidrogeno.....	59
Ilustración 45 Caracterización de la gráfica del Monóxido de carbono.....	60
Ilustración 46 Muestra del sistema interior multisensorial.....	61
Ilustración 47 Tabla general de propiedades de los sensores.....	61
Ilustración 48 información general y gráfica característica del MQ2.....	62
Ilustración 49 Gráfica calculada del MQ2.....	62
Ilustración 50 Gráfica de mediciones del MQ2.....	63
Ilustración 51 tabla de sensibilidad característica del MQ2.....	63
Ilustración 52 Parámetros arrojados de la calibración del MQ2.....	64
Ilustración 53 Análisis de gráfica de medición.....	64
Ilustración 54 Gráfica característica del sensor MQ2.....	65
Ilustración 55 Información general y gráfica característica del sensor MQ3.....	65
Ilustración 56 Gráfica de medición de alcohol con el sensor MQ3.....	66
Ilustración 57 Prueba de alcohol con el sensor MQ3.....	66
Ilustración 58 Gráfica registrada de la prueba de alcohol con el sensor MQ3.....	67
Ilustración 59 Tabla de sensibilidades del sensor MQ3.....	67
Ilustración 60 Parámetro arrojado de la calibración del sensor MQ3.....	68
Ilustración 61 Análisis de la gráfica de medición con el sensor MQ3.....	68
Ilustración 62 caracterización objetivo de medición.....	69
Ilustración 63 Información general y gráfica característica del sensor MQ4.....	69
Ilustración 64 Gráfica normalizada de la medición con el MQ4.....	70
Ilustración 65 Tabla de sensibilidad del sensor MQ4.....	70
Ilustración 66 Parametrización arrojada de la calibración del sensor MQ4.....	70
Ilustración 67 Prueba de metano con el sensor MQ4.....	71
Ilustración 68 gráfica obtenida de la medición con el sensor MQ4.....	72
Ilustración 69 Gráfica de característica objetivo del sensor MQ4.....	72
Ilustración 70 información general y gráfica característica del sensor MQ7.....	73
Ilustración 71 Gráfica normalizada de la calibración del sensor MQ7.....	73
Ilustración 72 Gráfica obtenida de las mediciones con el sensor MQ7.....	74
Ilustración 73 Información general y gráfica característica del sensor MQ8.....	74
Ilustración 74 gráfica normalizada obtenida de la calibración del sensor MQ8.....	75
Ilustración 75 tabla de sensibilidad del sensor MQ8.....	75
Ilustración 76 Gráfica de mediciones con el sensor MQ7.....	76
Ilustración 77 Parámetros arrojados de la calibración del sensor MQ8.....	76
Ilustración 78 Análisis de la gráfica obtenía de las mediciones del sensor MQ8.....	76
Ilustración 79 Gráfica característica objetivo del sensor MQ8.....	77
Ilustración 80 Gráfica de muestras obtenidas del sensor MQ8.....	77
Ilustración 81 Información general y gráfica característica del sensor MQ135.....	78
Ilustración 82 Gráfica normalizada de la calibración del sensor MQ135.....	78
Ilustración 83 Tabla de sensibilidad del sensor MQ135.....	78
Ilustración 84 Gráfica obtenida de las mediciones con el sensor MQ135.....	79
Ilustración 85 Análisis de la gráfica obtenida de las mediciones obtenidas del sensor MQ135.....	79
Ilustración 86 Parametrización obtenida de la calibración del sensor MQ135.....	80
Ilustración 87 Gráfica característica obtenida del sensor MQ135.....	80

Ilustración 88 Gráfica de muestras de persona sana 1.	81
Ilustración 89 Gráfica de muestras de persona sana 2.	81
Ilustración 90 Gráfica de muestras de persona sana 3.	82
Ilustración 91 Gráfica de muestras de personas alcohólica 1.....	83
Ilustración 92 Gráfica de muestras de persona alcohólica 2.	84
Ilustración 93 Gráfica de muestras de persona alcohólica 3.	85
Ilustración 94 Gráfica de muestras de persona fumadora 1.....	86
Ilustración 95 Gráfica de muestras de persona fumadora 2.....	87
Ilustración 96 Gráfica de muestras de persona fumadora 3.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Presupuesto general.	37
Tabla 2 Costo personal científico.	38
Tabla 3 Costo personal de apoyo.....	39
Tabla 4. Costo de consultoría especializada.....	39
Tabla 5 Costo de materiales e insumos.	40
Tabla 6. Costo trabajo de campo.	40
Tabla 7 Costo equipos usados	41

GLOSARIO

Patrón: Entidad periódica que responde a un análisis secuencial monitoreado que determina ciclos iguales en el estudio de un fenómeno u objeto.

Señal: Es una variación de una magnitud que se utiliza para transmitir información del estado de un fenómeno u objeto.

Concentración: Es la cantidad (en porcentaje) en que se encuentran las sustancias presentes en un fluido: soluto (sustancia de menor porcentajes de presencia en el fluido) y solvente (sustancia de mayor porcentaje de presencia en el fluido).

Compuesto Orgánico volátil: Cualquier compuesto orgánico (que contiene carbón) que se evapora con facilidad temperatura ambiente.

Multisensorial: Es un conjunto de dos o más sensores dispuestos en un solo dispositivo electrónico, organizados de forma matricial con un propósito común.

RESUMEN

El presente documento obedece al cumplimiento de conocimientos teóricos y prácticos del área de la electrónica, informática, química y medicina, los cuales se integran en un dispositivo multisensorial de uso médico, que se usará para medir las señales de los sensores que lo conforman, los cuales captarán concentraciones de compuestos orgánicos volátiles presentes en el aliento del paciente, del que se generará un posible diagnóstico.

Se llevará a cabo la elaboración de este dispositivo utilizando la unión de software como análisis de la información y el hardware como el que interactúa con el exterior, teniendo como base las investigaciones previamente realizadas ya que serán el fundamento teórico de este proyecto.

La matriz multisensorial se realizará en base a los recursos de Open Source, los cuales son recursos abiertos al uso público, de los cuales se utilizará Python como el software que cumplirá las funciones de las neuronas que procesan la información del cerebro de nuestra matriz multisensorial, sobre la cual reposan nuestras neuronas será la Raspberry Pi y como sensores que captan la señal teniendo la función de una nariz, serán los sensores MQ de la distribución de Arduino. La sinergia de lo mencionado esto permitirá la elaboración de un dispositivo que pueda servir de apoyo al momento de dictaminar un diagnóstico médico.

Palabras claves: Multisensorial, Compuestos Orgánico-volátiles, Recursos abiertos.

ABSTRACT

This document complies with theoretical and practical knowledge in electronics, computing, chemistry, and medicine, which are integrated into a multisensory device for medical use, which will be used to measure the signals of the sensors that comprise it., which will capture concentrations of volatile organic compounds present in the patient's breath, from which a diagnosis will be generated.

This device will be carried out using the union of software such as information analysis and hardware as the interface with the outside world and based on previously carried out research which will be the theoretical foundation of this project.

The multisensory matrix will be made based on Open-Source resources, which are resources open to public use, such as Python will be used as the software that will fulfill the functions of the neurons that process information, the brain of our multisensory matrix on which they rest. our neurons will be the Raspberry Pi and as sensors that capture the signal having the function of a nose, they will be the MQ sensors of the Arduino distribution. The synergy of the will allows the elaboration of a device that can serve as support now of dictating a medical diagnosis.

Keyword: Multisensory, Organic-volatile compounds, Open resources.

INTRODUCCIÓN

El ser humano a lo largo de su vida se encontrará con diversas enfermedades, las cuales afectarán de forma negativa a su organismo, esto de igual forma tiene un impacto negativo en el desarrollo de actividades diarias en la vida de dicho individuo, estas enfermedades pueden ser transitorias, las cuales están presentes por un periodo corto de tiempo y solo lo afecta de manera momentánea pero hay otras enfermedades que se podrían decir que son permanentes, ya que el paciente al adquirirlas tiene que lidiar con ellas por el resto de la vida o por muy largos periodos de tiempo, lo cual afecta no solo sus actividades diarias sino que afecta tanto a la salud de la persona que incluso podría provocarle la muerte.

Muchas de las enfermedades más graves tienen un inicio suave y silencioso, éstas si no se detiene su crecimiento pueden llegar a convertirse en enfermedades graves, muchas personas a lo largo de la historia se han dedicado a encontrar métodos que les permitan identificar qué enfermedad es la que aqueja al paciente y poder prevenirla a tiempo.

En nuestros días se usa el diagnóstico médico como evaluación de los síntomas y signos, los cuales servirán de insumo para la elaboración de un historial clínico en el cual está consignado la enfermedad que aqueja al paciente y cómo tratarlo, pero no todos los diagnósticos son sencillos de realizar ya que a veces los síntomas y signos que presenta el paciente son muy generales, por ende, el médico tiene que recurrir a diversos estudios en donde pueda encontrar soporte y evidencias que le permitan dictaminar y llevar su diagnóstico a una formulación concreta.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

La organización mundial de la salud (OMS) indicó que uno de los principales factores que causan la muerte en los pacientes con diferentes enfermedades en el mundo son causados por los diagnósticos tardíos, hay enfermedades que no presentan síntomas sino hasta cuándo ha hecho metástasis o estén en una fase avanzada como lo son el cáncer [1][5][3], la diabetes [15], el VIH [15] o diferentes infecciones como la tuberculosis [16][17] entre otras enfermedades [18].

Según un artículo publicado en la revista “the Guardian” la mitad de los pacientes con cáncer son diagnosticados tardíos [2] y según un análisis publicado en la revista electrónica de “población y salud en Mesoamérica” [4], las personas que son diagnosticadas en una fase temprano del cáncer sobreviven un 42.7% por encima de las personas que son diagnósticas tardías y se puede evitar entre el 30% y el 50% de los cánceres, si estos se detectan de forma temprana [5] [8].

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las estadísticas anteriores se podrán extrapolar a las diferentes enfermedades, entonces se evidencia que un factor determinante para la prevención y el éxito de un tratamiento frente a cualquier enfermedad, en especial el cáncer [10] y las infecciosas, es un diagnóstico temprano, ya que brinda la posibilidad a quien la contenga de combatirla si está, aún no ha hecho metástasis o no este en una fase avanzada. Por lo tanto, aumenta considerablemente las posibilidades de ser prevenido o curado [6] [9].

La mejor forma de detectar temprano una enfermedad es mediante un diagnóstico, revisión general o examen clínico de una persona, lo cual puede ser un poco complejo por la cantidad de síntomas y aspectos del cuerpo que se requieren revisar [11] [12]. A partir de esos exámenes clínicos y la valoración de sus resultados se podrá dictar un diagnóstico al paciente [13].

Existen exámenes clínicos cuyos resultados toman un tiempo más extenso de lo normal debido a que estas muestras tienen que ser analizadas, ya que tendrán que ser trasladadas a otros laboratorios más especializados, lo cual dilata el proceso de elaboración de un diagnóstico y la pertinencia en requerir el análisis de los síntomas. En ciertos casos para subsanar el tiempo de espera a los resultados de las muestras, el doctor realiza un diagnóstico precoz al paciente teniendo en cuenta ciertos síntomas generales, antecedentes familiares, antecedentes personales, intuición médica y experiencia para el dictamen del diagnóstico clínico [14].

Para eso se pensó en la implementación de un dispositivo, este debe contar con la capacidad de analizar dichas muestras adquiridas de forma no invasiva, estas muestras servirán de base y fundamento objetivo para el dictamen de un diagnóstico y puede ser usado en cualquiera de las tres fases de la elaboración de un diagnóstico [14].

¿De qué forma podemos contribuir para implementar una herramienta que permita pre-diagnosticar algún tipo de enfermedad mediante la adquisición de muestras por técnicas no invasivas?

Los procedimientos no invasivos no involucran instrumentos que rompen la piel o que penetran físicamente en el cuerpo, mediante estudios hemos podido determinar que la forma en la que podemos realizar un diagnóstico no invasivo es mediante un dispositivo multisensorial que nos permita identificar mediante evidencias sintomatológicas posibles enfermedades.

1.3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

Teniendo en cuenta la problemática planteada y analizando la importancia de un diagnóstico médico temprano, que la respuesta a un estudio de muestra sea lo más corta posible y la necesidad de un dispositivo de bajo costo, pero eficiente, se puede evidenciar que la elaboración de este dispositivo influye directamente en los sectores sociales, económicos y de salud pública.

La elaboración de este dispositivo no constituye una gran inversión monetaria debido al costo de los materiales en el mercado general es accesible y su proceso de manufactura es sencillo, lo cual no requiere gasto de maquinaria industrial o profesional sino casera y semiprofesional.

La intención en la elaboración de este dispositivo es el de distribuirse en las entidades prestadoras de salud como una herramienta que facilite al personal de la salud la elaboración de un diagnóstico médico mediante el estudio y análisis de muestras de aliento de los pacientes.

1.3.1. Importancia del proyecto.

La importancia de este proyecto radica en el estudio de muestras adquiridas por técnicas no invasivas realizadas por un dispositivo de forma intuitiva y de fácil manejo, poder contribuir a la temprana detección y clasificación de posibles enfermedades, lo cual reduciría el tiempo de elaboración de un diagnóstico precoz y así la tasa de mortalidad de pacientes.

1.3.2. Impacto Social.

La elaboración de este dispositivo responde directamente a la mega tendencia social de la salud tecnológica en donde se busca contribuir a mejorar la calidad de vida y mejora del servicio médico prestado, siendo un instrumento de ayuda para el personal de la salud al momento de formular un diagnóstico o como chequeo rutinario para el paciente.

1.3.3. Impacto Ambiental.

Este dispositivo no tendrá un impacto ambiental negativo ya que al momento de construirse no se generarán residuos contaminantes radioactivos, ni grandes poluciones, solo los pocos desechos sólidos de materiales de la estructura, del mismo no se producirán desechos inorgánicos y orgánicos al momento de operar, este, por lo tanto, reducirá el alto uso de implementos médicos como quimioterapias entre otros procedimientos que demandan alto uso de energía y daños en la salud.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Construir un dispositivo multisensorial de procesamiento clínico de partículas volátiles del cuerpo adquiridas de forma no invasiva, para el insumo en la elaboración de un diagnóstico médico temprano.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar métodos, procedimientos y análisis de adquisición de muestras no invasivas para el estudio de compuestos volátiles.
- Implementar un dispositivo multisensorial a partir de un algoritmo de análisis multivariable que permita el análisis de las muestras adquiridas.
- Ajustar correctamente los parámetros y funcionamientos del dispositivo brindando resultados coherentes para el diagnóstico.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad existen una serie de proyectos e investigaciones que van enfocados a el análisis de los compuestos volátiles y como la presencia de diferentes compuestos en el aliento son un indicio de alguna enfermedad en el paciente, los cuales se usarán como apoyo y guía para la elaboración de la investigación en curso [29].

Por lo tanto el Proyecto titulado “**Non-invasive prediction of lung cancer histological types through exhaled breath analysis by UV-irradiated electronic nose and GC/QTOF/MS**” [19]. Se identificaron cuatro nuevos biomarcadores putativos de cáncer de pulmón en el aliento exhalado a través de GC / QTOF / MS, el cual estructuró en un orden jerárquico para el diagnóstico de cáncer de pulmón no invasivo y la predicción del tipo histológico.

Lo anterior permite que la investigación que se desarrolla, proponga un método de jerárquico para la detección de cáncer de pulmón basado en las diferentes concentraciones de las partículas volátiles detectadas.

Por su parte el artículo titulado **“Exhaled breath analysis for gastric cancer diagnosis in Colombian patients” [20]** correlaciona directamente el cáncer gástrico (CG) con biomarcadores específicos en la composición del aliento exhalado por el paciente, además se trabaja en un novedoso sensor de estado sólido que predice correctamente el Diagnóstico GC con 97% de precisión. Muestras de aliento alveolar de 30 voluntarios.

Podemos rescatar de ese artículo su nuevo sensor el cual servirá como base y ejemplo para el diseño de nuestro propio sensor, además presenta los biomarcadores para identificar a los grupos de control afectados y no afectados por esta enfermedad, también nos presenta la fórmula química de estos biomarcadores.

La investigación **“Evaluation of Volatile Organic Compounds Obtained from Breath and Feces to Detect Mycobacterium tuberculosis Complex in Wild Boar (Sus scrofa) in Doñana National Park, Spain” [21]**. Este trabajo estudia la presencia del complejo Mycobacterium tuberculosis (MTBC) en cerdos salvajes con diferentes edades y la presencia de los diferentes O-ciminos en los mismos.

Esta investigación permitirá reconocer las diferentes partículas volátiles presentes en Organismos vivos con indicios de tuberculosis y sus diferentes concentraciones.

Así mismo el estudio llamado **“Correlación entre los síntomas digestivos y los resultados de una prueba de hidrógeno en aliento en el diagnóstico de intolerancia a carbohidratos” [22]**. En este trabajo de utilizan Las pruebas de hidrógeno en aliento (PHA), se utilizan para el diagnóstico de intolerancia a carbohidratos, sobre el crecimiento bacteriano intestinal y determina si existe una correlación entre la presencia e intensidad de los síntomas experimentados por el paciente tras la carga de carbohidrato y el resultado de la PHA.

Paralelamente la investigación **“Validación de una prueba de amonio en aliento para el diagnóstico de la infección por Helicobacter pylori en pacientes del**

Hospital Cayetano Heredia” [23]. Determinar la validez diagnóstica de una prueba de amonio en aire espirado para la infección por *Helicobacter pylori* en pacientes a los que se le realiza una endoscopia digestiva alta en el Hospital Cayetano Heredia.

Del mismo modo el estudio **“Test del H2 en el aliento y otras alternativas diagnósticas para la intolerancia a la lactosa” [24]** realizó una revisión sistemática sobre la sensibilidad y especificidad, uso, indicaciones, efectos adversos y costes de la prueba del H2 en el aliento y otras alternativas para el diagnóstico de esta patología.

Los trabajos cuarto, quinto y sexto brindan un análisis de la presencia de las partículas volátiles y diferentes concentraciones ante diferentes síntomas presentes en el ámbito intestinal y estomacal.

Por otro lado, existen diferentes estudios e investigaciones donde se exploran el análisis de las partículas volátiles del aliento y como se relacionan con la presencia de diferentes enfermedades en donde se identifican los compuestos como biomarcadores **“Volatile organic Compounds in breath can serve as a non-invasive diagnostic biomarker for the detection of advanced adenomas and colorectal cancer”**, **“Aplicación clínica del análisis de compuestos orgánicos volátiles para detectar enfermedades infecciosas” [25] [27] [28]**; hay estudios piloto en donde se usa tecnología iónica para diagnosticar enfermedades por análisis respiratorias **“Análisis de la respiración utilizando tecnología de movilidad iónica y enose para diagnosticar la enfermedad inflamatoria intestinal: un estudio piloto” [26] [30].**

Teniendo en cuenta todos los estudios realizados y conocimientos generados y consignados en estos artículos, investigaciones y referenciadas, estos servirán de apoyo conceptual y tecnológica para la realización del presente proyecto, además con estos estudios podemos evidenciar que si es posible la realización del dispositivo multisensorial con la metodología planteada en el presente documento.

3.2. MARCO TEÓRICO

3.2.1. Marco Tecnológico.

Para la elaboración del dispositivo multisensorial se requiere el uso de tecnologías adecuadas las cuales permitan el análisis y la integración de conceptos a través de un diseño mecatrónico puntual, para eso se exploraron diferentes estudios e investigaciones donde implementan una serie de sensores y tecnología que utilizan para la captación de las partículas volátiles, diferentes métodos de análisis de estas muestras, la parametrización de datos y diversas técnicas que guiaran la elaboración del presente dispositivo en construcción.

Para el diseño del dispositivo es necesaria una tecnología que permita analizar y procesar la información de las muestras obtenidas por los pacientes, una tecnología que permita almacenar los datos, procesarlos, interpretarlos y comunicarlos con el usuario.

Las tecnologías que servirán para lo mencionado son los microcontroladores y los microprocesadores, de los cuales se utilizarán los más comercializados y conocidos del mercado, de los microcontroladores se usará el Arduino y por la familia de los microprocesadores se utilizará la Raspberry Pi.

El Arduino es un dispositivo Hardware con soporte Software OpenSource para su programación [31], los Microcontroladores en los que se basa el Arduino son ATmega328P, esta placa también cuenta con unos pines GPIO las cuales pueden ser Digitales y/o analógicas los cuales pueden ser usado como entradas o salidas [32], la principal características es la versatilidad de sensores y componentes que se pueden adaptar a la placa Arduino, el lenguaje compilado **C++** el cual se usa para programar el microcontrolador tiene una sintaxis sencilla e intuitiva y la placa Arduino cuenta con un valor asequible en el mercado.

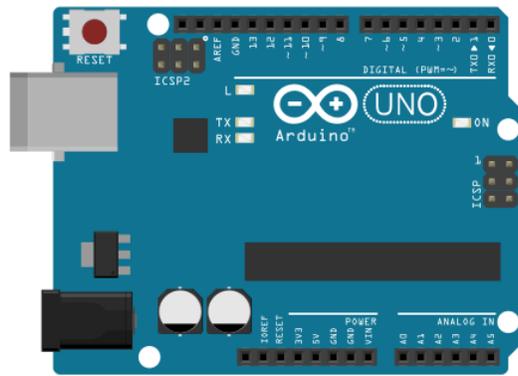


Ilustración 1 Vista superior de la tarjeta Arduino [31].

Los requerimientos mínimos del hardware para el desarrollo del proyecto los podemos asemejar con las especificaciones de una **Raspberry Pi**, el cual es un dispositivo Hardware como ordenador de placa única reducida con soporte de Software a un bajo costo, estas placas cuentan con una memoria RAM que puede variar desde 256MB hasta 8GB según su modelo y también cuenta con pines GPIO digitales que pueden ser programados como entrada o salida y también cuenta con puertos USB y un puerto HDMI [33]. Raspberry cuenta con un sistema operativo basado en LINUX el cual permite la instalación de una gran cantidad de programas, aunque para este caso el sistema operativo de Windows también es útil. El lenguaje que se usa para la configuración de los pines GPIO y la tarjeta Raspberry Pi es **PYTHON** [34], el cual es un lenguaje, de tipado dinámico e interpretado, multipropósito y OpenSource de alto nivel. Este lenguaje de programación cuenta con una comunidad la cual ha realizado gran cantidad de librerías, estas librerías serán de gran utilidad al momento de ordenar, procesar y visualizar la información de las muestras obtenidas.

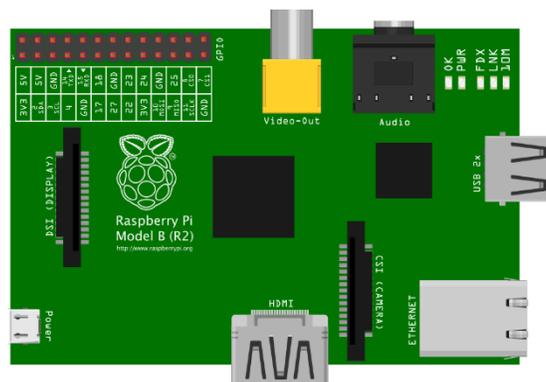


Ilustración 2 Vista de la tarjeta de Raspberry [33].

Una parte imprescindible para la elaboración del dispositivo multisensorial es la tecnología pertinente para captar y analizar las partículas volátiles que se recogerán de las muestras de los pacientes, entonces los sensores que usemos deben ser los adecuados para dicha función, además de contar con la sensibilidad también debe tener un precio asequible [40].

Los sensores más comunes en el ámbito comercial y más fáciles de usar son los **sensores MQ de Arduino** los cuales pueden captar diferentes gases de manera efectiva diferentes gases, entre esos sensores y gases están: MQ-135 (Calidad de Aire, CO₂, CO, Alcohol, NH₄, Tolueno, Acetona), MQ-131 (Ozono), MQ-136 (Sulfuro de hidrógeno), MQ-137 (Amoniaco, NH₃, Etanol, CO), MQ-138 (Benceno, Hexano, Metano, Propano, CO), MQ-2 (Metano, Butano, LPG, Humo), MQ-3 (Alcohol, Metanol, Humo), MQ-4 (Metano, gas GNC), MQ-5 (Gas natural, LPG), MQ-6 (LPG, Butano, propano), MQ-7 (Monóxido de carbono CO), MQ-8 (Hidrogeno), MQ-9 (LPG, CO, CH₄) [35].



Ilustración 3 Vista isométrica del módulo MQ para Arduino [35].

Los sensores MQ son sensores electroquímicos los cuales varían sus resistencia al entrar en contacto con sustancias específicas, para que el material del que está hecho el sensores requiere de elevar su temperatura para tener la sensibilidad necesaria para percibir dichos gases, para eso, ellos cuentan con un calentador que necesita una tensión de 5v para funcionar, el tiempo de calentamiento depende del tipo de sensor y hasta que el sensor no alcance la temperatura adecuada, su lectura

no será confiable.; estos sensores se dicen que tienen alta inercia, es decir, que requieren de un tiempo para dar una respuesta estable [36].

Una de las facilidades que brindan los componentes MQ y la plataforma de Arduino y Raspberry, es la capacidad de realizar varias muestras, mediciones simultáneas [37], las cuales se podrán procesar para tenerlas de insumo de un control de gases y medio ambiente, insumo para el diagnóstico precoz.

Los sensores de la familia MQ son sensores analógicos, haciendo esto que, si implementación sea fácil ya que generalmente los sensores MQ se encuentran en módulos, lo que nos facilita la parte de las conexiones y su uso en cualquier microcontrolador que tenga entradas analógicas, solo basta con alimentarlo con el voltaje correspondiente y cargar el código pertinente en el microcontrolador para empezar adquirir lecturas por parte del sensor.

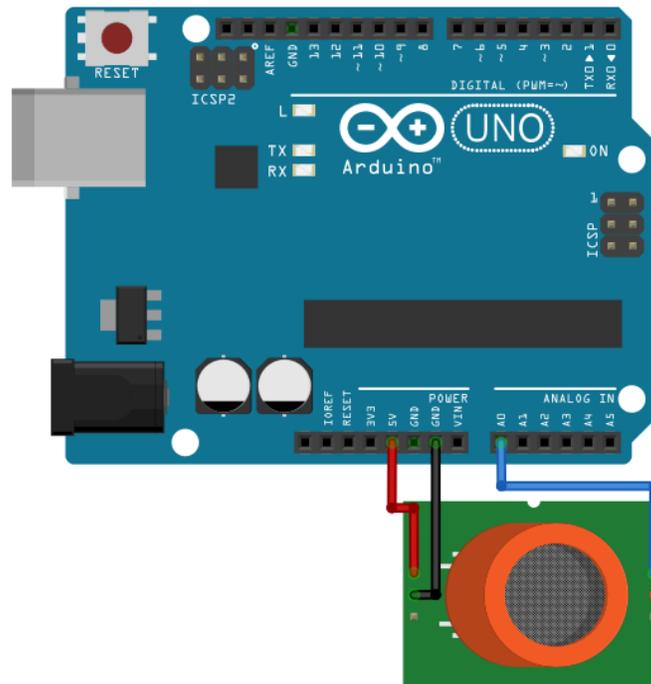


Ilustración 4. Conexiones básicas del Módulo MQ.

Estos son sensores con electroquímicos y varían su resistencia cuando se exponen a determinados gases, este dispositivo cuenta internamente con una resistencia que hace la función de calentador, el cual se encarga de aumentar la temperatura interna y con esto los sensores puedan reaccionar con los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia. El calentador puede necesitar un voltaje entre 5 y 2 voltios, el sensor se comporta como una resistencia y necesita una resistencia de carga (RL) para cerrar el circuito y con este hacer un divisor de tensión y poder leerlo desde el microcontrolador.

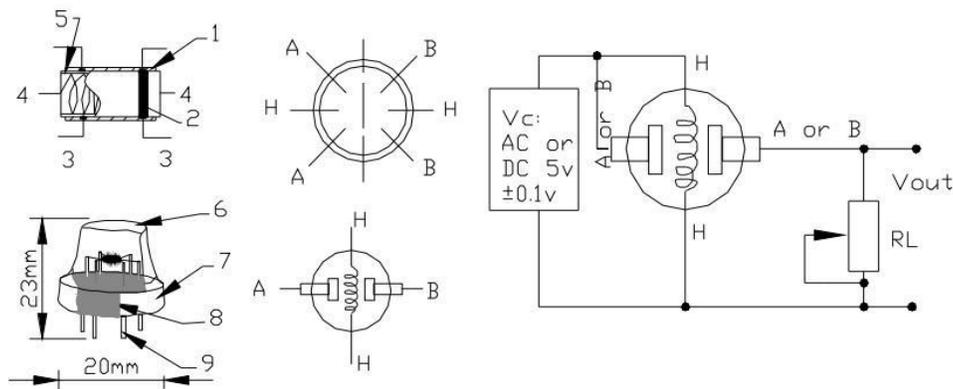


Ilustración 5 Configuración básica del módulo MQ para Arduino.

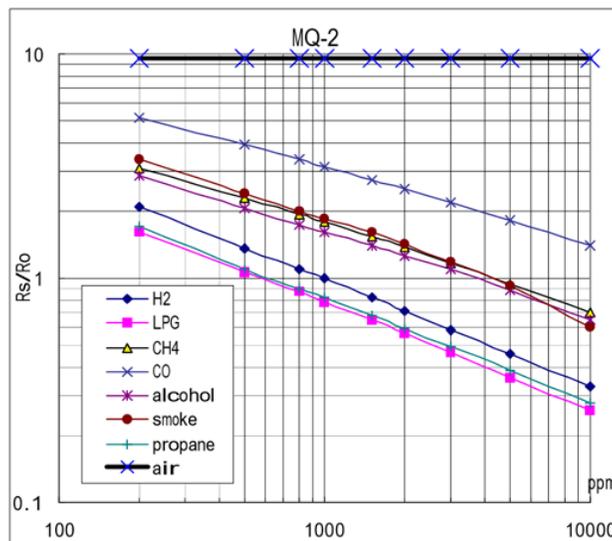


Ilustración 6 Gráfica de las lecturas del módulo MQ en el visor serial.

También existen otros tipos de tecnología en donde se usan sensores que aún no son comerciales, es decir, que crean o usan como base otros sensores para su modificación o creación, por ende, no se encuentran en el mercado.

Uno de esos sensores que no son comercializables, se explora en la investigación titulada “**Gas sensors based on conducting polymers**” en donde se utiliza unos sensores de gas basados en polímeros conductores como polianilina (PAni), polipirrol (PPy) y poli (3,4-etilendioxitiofeno) (PEDOT), estas siendo usadas como capas activas, este también analiza el mecanismo de detección y las configuraciones de los sensores [38].

A su vez el estudio llamado “**Fabricación y caracterización de sensor de acetona de baja temperatura utilizando nanocables de CuO**” en el cual, como lo dice el título, tiene como objetivo la fabricación y caracterización de un sensor de acetona, los cuales tenían contaban con una sensibilidad de un 68% con una temperatura de 50 °C, esta investigación puede servir de referente conceptual para una posible fabricación de un sensor de gas [39].

3.2.2. Marco Conceptual.

En la actualidad los procedimientos de detección no invasivas son cada vez más frecuente ya que en el sector de la salud crean una demanda significativa para la protección del medio ambiente para disminuir los residuos.

Estos dispositivos no invasivos son creados mediante sensores especializados con resistencias sensibles para la detección de partículas volátiles expulsadas por el aliento; también se detectan enfermedades mediante las heces y orina.

- **Olfato electrónico.**

Un olfato electrónico es un dispositivo que tiene múltiples sensores o un único sensor que detecta partículas mediante una corriente de aire, estos dispositivos normalmente tienen sensores químicos que comparan patrones iguales a olores, partículas volátiles entre otros aspectos [40].

- **Sensores Fígaro.**

Este tipo de dispositivos funciona cuando detectan algún tipo de partícula volátil, esta recolecta información a tiempo real dependiendo de la programación, efectuará distintas respuestas como: planos cartesianos, tablas de vs, respuestas en valores numéricos entre muchas más [41].

Este sensor tiene capacidad de captar gases contaminantes y entre esta serie de sensores, también están 3 más que son TGS2601 que tienen una gran sensibilidad en gases como el hidrógeno, metano y monóxido de carbono y también en la misma familia tenemos al TGS2602 que tienen la capacidad de detectar compuestos orgánicos y gases olorosos como el amoníaco, sulfuro de hidrógeno, TGS 2603 tiene la capacidad de detectar olores de alimentos y la serie de ánimas [41].

- **La importancia del examen no invasivo en el sector de la salud.**

Para el sector de la salud es importante que los exámenes de cáncer gástrico sea con métodos no invasivos, como el aliento que es uno de los más frecuentes en este tipo de exámenes, normalmente se utilizan bolsas contenedoras de aire y al usuario se le da una pastilla de urea para generar exámenes con más claridad y mayor exactitud; este tipo de exámenes todavía generar residuos que son empaques de muestra, también los guantes y tapabocas usados por la enfermera y no dejemos atrás la alta demanda de energía y espacio que lleva usar una máquina de estas[42].

- **Aire Exhalado.**

El aire exhalado es un impulso controlado por un ser vivo que consta de inhalar aire natural que al momento de entrar en contacto en el organismo recolecta partículas y estas al momento de expulsarlas (exhalar) a un dispositivo o contenedor médico [42].

- **Compuestos Orgánicos Volátiles.**

los compuestos volátiles son partículas que, impulsadas por corriente de aire, ya que estas son liberadas del cuerpo que pertenece, este tipo de partículas

normalmente empiezan por los bronquios que llevan al conducto de la tráquea y se reparte por la boca nariz y en otros casos la orejas [42].

- **Diagnóstico.**

El diagnóstico es un proceso inferencial, realizado a partir de un «cuadro clínico», destinado a definir la enfermedad que afecta a un paciente [43] [44], dentro del proceso para realizar un diagnóstico están los siguientes pasos:

- a) Generación de hipótesis diagnósticas
- b) Refinamiento de las hipótesis diagnósticas
- c) Verificación del diagnóstico

Dentro de la formulación del diagnóstico, el médico tendrá que realizar una hipótesis sobre el cuadro clínico y los síntomas que este presentando el paciente y dependiendo de lo acertado y ajustado a los síntomas y al cuadro clínico, este médico tendrá un valor dentro del umbral de decisión [45], el cual ilustra si debe descartar su hipótesis o seguir realizando estudios o si la hipótesis fue válida e iniciar la terapia correspondiente [46].

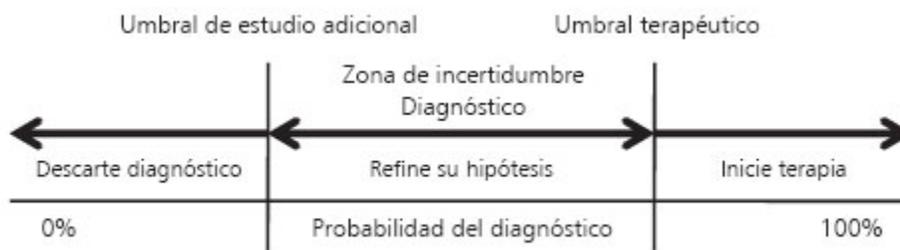


Ilustración 7 Umbral de decisión del proceso de diagnóstico [45].

- **Diagnóstico tardío.**

es una expresión usada para indicar que el diagnóstico realizado al paciente señala que la enfermedad está en una fase muy avanzada, haya realizado metástasis, esto podría llevar a realizar tratamientos erróneos, innecesarios o perjudiciales para el paciente, esto se puede producir por la mala interpretación de los síntomas del

paciente, por la falta de evidencias en los estudios de las muestras obtenidas o por negligencia y mala praxis médica [47] [48].

- **Diagnóstico precoz.**

el diagnóstico precoz o temprano es un término utilizado, cuando mediante los estudios clínicos y exploraciones complementarias se puede objetivar e identificar cualquier enfermedad en el paciente [49], el diagnóstico precoz incrementa las posibilidades de sobrevivir del paciente ya que se detecta la enfermedad en una fase temprana, lo que produce que disminuya la mortalidad en la población de los pacientes [50].

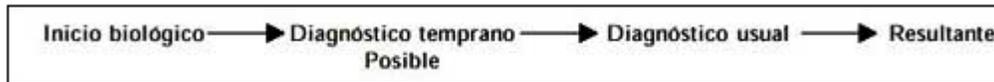


Ilustración 8 Etapas de la enfermedad y los momentos de su posible diagnóstico [50].

El diagnóstico precoz o temprano se podrá realizar después de que el generador de la enfermedad haya empezado a interactuar con el huésped para que sea perceptible para el estudio temprano, pero se debe aplicar antes de que la enfermedad progrese o afecte al paciente que es cuando se le realiza el diagnóstico usual [51].

- **síntomas.**

Un síntoma es un fenómeno que experimenta el paciente en su cuerpo que es afectado por la enfermedad, por ende, es una evidencia subjetiva de la enfermedad [52] [53].

- **Signo.**

Un signo es cualquier evidencia observable y objetiva que es la manifestación de una enfermedad que puede ser percibida por otra persona, el cual indica la presencia de una enfermedad [52] [54].

- **Compuestos orgánicos volátiles (COV).**

- Los COV son todos aquellos carbohidratos que a temperatura ambiente están en estado gaseoso o tienen una alta volatilidad a condiciones de

ambiente normal [55], el cual según la normativa europea son superiores a 0,01 kPa y 293,15K [56].

- **Procedimientos No Invasivos.**

Los procedimientos no invasivos son aquellos que para adquirir una muestra no penetran físicamente en el cuerpo, por lo cual, no dañan ni se diseminan a otros órganos o tejidos [57].

- **Procedimientos invasivos.**

son todos aquellos procedimientos en los cuales el cuerpo del paciente es penetrado química y/o físicamente, estos procedimientos tienden a dañar en cierto grado el cuerpo del paciente, por lo que el paciente necesitará un tiempo de recuperación del procedimiento [58] [59].

3.2.3. Marco Legal.

Para el desarrollo de este proyecto hay que tener en cuenta las normas que regulan su diseño, elaboración, testeo e implementación en el campo, porque de no tenerse en cuenta el proyecto no se realizará de la mejor manera, no se podrá implementar legalmente en el campo o puede acarrear sanciones para los autores del dispositivo [60].

Entre las diferentes normas y leyes que cobijan este proyecto, está la **Ley 9 de 1979** [61] en la cual se dictan las medidas sanitarias, de igual forma está la **Resolución 4816 de 2008** [62] en la cual se establecen los reglamentos de tecnovigilancia para fortalecer al personal que se vea implicado en el uso, aplicación, operadores y fabricantes de dispositivos médicos y a su vez **Resolución 1319 de 2010** [63] Mediante esta resolución se implementa un manual de buenas prácticas de manufactura para la elaboración y adaptación de dispositivos médicos.

El decreto 4725 del 2005 en el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano [64], el cual tiene como objetivo la regulación de los registros sanitarios, permisos de comercialización, producción, uso y mantenimiento de dispositivos médicos para uso humano. Según el **capítulo I** del decreto se dan las definiciones y disposiciones generales, el dispositivo el cual

se va a elaborar se definirá como un “**Dispositivo médico destinado a investigaciones clínicas**” y como un “**Dispositivo médico para uso humano**”. De igual forma en el **capítulo II** se clasifican los dispositivos médicos a partir de una serie de criterios tales como tipo de contacto con el cuerpo, grado de invasión y efecto sobre el cuerpo, el dispositivo está clasificado como “**Dispositivo médico no invasivo clase I**” ya que será utilizado como barrera mecánica para el almacenamiento y análisis de exudados. Y en los capítulos siguientes se dan las disposiciones donde se establecen las buenas prácticas de manufactura y certificados de almacenamiento y acondicionamientos de dispositivos médicos, se dan los términos del registro sanitario, de su comercialización, de su empaquetado y etiquetado, su publicidad, su control y vigilancia.

Las **normas ISO (International Organization for Standardization)** de las siglas en español Organismo Internacional de Normalización son una serie de requerimientos, las cuales están consignadas en documentos con el fin de crear normas o estándares para asegurar la calidad, seguridad y eficiencia de productos y servicios, los cuales serán usados por organizaciones como herramientas para garantizar las buenas prácticas, la correcta gestión de los productos y/o servicios que brindan [65] [66].

Dentro de todas las normativas de las normas ISO, existe una norma la cual se aplica para creación y gestión de dispositivos médicos [67], La norma ISO 13485 tiene como propósito proporcionar a las organizaciones capacitaciones en procedimientos para brindar dispositivos médicos de calidad [68], La **ISO 13485** está basada en la **ISO 9001**[69] la cual se especializa en sistemas de gestión de calidad.

La **norma ISO 13485** contiene diferentes aspectos a tener en cuenta al momento de gestionar productos y servicios sanitarios y de dispositivos médicos [70], entre los cuales están el control de la producción (diseño, fabricación, esterilización, envasado, y almacenamiento), el documento también especifica una gestión de riesgos la cual debe abarcar toda el ciclo de vida del dispositivo, la cadena de proveedores, los subcontratos, también se deben tener en cuenta la manipulación de datos clínicos y una correcta retroalimentación de estos procedimientos.

Paralelamente también hay que tener en cuenta la norma **ISO 27001** la cual se aplica a sistemas de gestión de la seguridad en información [71], el desarrollo del presente dispositivo se van a requerir datos de personas de cierta población y al momento de operar también se van a generar un historial clínico del paciente, entonces esa información es considerada sensible y confidencial [72] por eso aplica la norma **ISO 27001** la cual tiene consignadas medidas orientadas a la protección de la información contra cualquier amenaza sin importar el formato en el que se encuentre la información.

Los objetivos del sistema de gestión de la seguridad de la información tiene como propósito ilustrar a la organización a conservar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información [73], para eso la **ISO 27001** tiene unas fases las cuales nos servirán para implementar el sistema de gestión de la seguridad de la información los cuales son los siguientes: identificar activos de información, identificar vulnerabilidades, identificar amenazas, identificar requisitos legales, identificar riesgos, cálculo de riesgos y tratamiento de riesgos [74].

4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.

4.1. METODOLOGÍA.

el objeto de estudio, en otras palabras, es una estructuración teórico-práctico que nos permite percibir, comprender el mundo y sus fenómenos de una forma u otra [75].

Para guiar correctamente el proceso investigativo y el desarrollo del dispositivo es necesario posicionarse en algún paradigma de investigación o enfoque de investigación, además, nos brindará un modelo que proporcionará a la investigación claridad al momento de comprender los fenómenos a estudiar [76].

Para poder identificar el tipo de paradigma que optará el presente proyecto, se identificarán los diferentes tipos de investigación y diferentes enfoques que existen, de los cuales podemos extraer diferentes perspectivas y metodologías de investigación que se aplicarán en la presente investigación [77].

De los tres tipos de paradigmas que existen, los cuales son **paradigma positivista [78]**, **Paradigma Interpretativo [78] [79]**, **Paradigma Sociocrítico [80]**, este proyecto se guiará por el **paradigma positivista** tiene un enfoque cuantitativo, empírico-analítico, teórico-práctica y racionalista. Este paradigma se apoya en el modelo de conocimiento y método científico lo cual lo lleva a la experimentación y al cálculo del objeto de estudio mediante el uso de la estadística y utiliza las vías y métodos hipotético-deductivo lo que le permite explicar, predecir y controlar los fenómenos del mundo u objetos de estudio.

Como se mencionó anteriormente de los dos enfoques que se pueden presentar dentro de una investigación (**enfoque cuantitativo [81] [82] [83]** y **enfoque cualitativo [84]**) se aplicará el **enfoque cuantitativo**, el cual se enfoca en la parte matemática y en cuantificar los datos que surgen a lo largo de la investigación y se tendrá un objetivo **correlativo**, en el cual se estudia la relación que hay entre las variables dependientes e independientes del objeto de estudio, con un tiempo **Sincrónico o Transversal** ya que se investigará el fenómeno mientras está ocurriendo y de manera continua.

El **paradigma positivista** con un **enfoque cuantitativo** ya que se apoyará en el método científico al momento de analizar el objeto de estudio, el cual será la identificación de las enfermedades. Este paradigma brindará una guía para la medición de las diferentes variables obtenidas de las muestras tomadas del paciente de manera no invasiva y mediante el cálculo de la concentración o cantidad de las diferentes variables se suministrará un diagnóstico al paciente.

4.2. TIPO DE ESTUDIO.

La presente **investigación será de tipo aplicada y correlativa**, porque se identificará las variables independientes (que son las diferentes partículas volátiles obtenidas como muestras del paciente de manera no invasiva) y se encontrará la correlación con las variables dependientes (las cuales son las enfermedades que se pueden diagnosticar dependiendo de los signos) y esta correlación se aplicará en el dispositivo que se desarrollará y se cuantificará y verificará la confiabilidad de este.

Esta investigación se realizará mediante el **método científico** ya que es un objeto de estudio que se requiere analizar y correlacionar las diferentes variables y signos los cuáles serán las que permitirán identificar y diagnosticar diferentes enfermedades, este método también guiará para aplicar los fundamentos biológicos y químicos, los cuales mediante los conocimientos de tecnología e ingeniería se podrá realizar el prototipo del desarrollo de este dispositivo el cual brindará una solución eficiente, de bajo costo, que opera bajo procedimientos no invasivos y mejorará la calidad del servicio prestado en el sector de la salud.

- **Población.**

Tener claro cuál es la población de nuestra investigación nos ayudará a encaminar adecuadamente y la muestra nos brindará el cerco sobre el cual realizaremos nuestro estudio, la población nos ayuda a identificar la totalidad del conjunto al que pertenecen los elementos u objetos que se están investigando y la muestra es un subconjunto de elementos que se selecciona de nuestra población para realizar el estudio [85].

Como se mencionó anteriormente, la **Población [86]** es el conjunto que representa la totalidad de los objetos a estudiar, estos objetos o elementos deben tener características en común ya que todos deben estar relacionados con el tema de estudio.

La **población** son todos aquellos pacientes los cuales se les puede tomar el aliento como signo de alguna enfermedad, **el tipo de población es infinita** porque no se puede concretar el número exacto de personas enfermas y es de tipo real porque las personas evidencian la enfermedad y son tangibles tanto las personas como los signos y síntomas.

- **Muestra.**

La **Muestra [87]** es un subconjunto que representa la población, la muestra se toma para que, al momento de realizar el estudio, sea controlado y fácilmente contabilizado, esto permitirá crear normas y estándares que se podrán aplicar a la población y permitirán extrapolar los resultados de la muestra a la población.

- **Muestreo Aleatorio:** es un tipo de selección de muestreo donde todos los elementos u objetos tienen la misma probabilidad de ser elegidos, existen diferentes tipos de muestreo aleatorio:
- **Muestreo No Aleatorio:** los elementos u objetos se escogen en base en el manejo de la información de cada uno de ellos, este tipo de selección de la muestra puede que no represente la totalidad de la población o muestra.

El tipo de muestra que se tomará por **selección no aleatoria** ya que escogen paciente con enfermedades puntuales ya que el objeto de estudio del presente documento es poder identificar un número de enfermedades concretas.

- **Fuente.**

Se tendrán distintas fuentes de información de recolección de información para el presente proyecto, se usarán **fuentes secundarias** como artículos, estudios, investigaciones, análisis realizados en el área de estudio y diferentes bases de datos. **Las fuentes primarias** serían las entrevistas y análisis de resultados con doctores expertos en el área y la adquisición de muestras de los pacientes que presenten enfermedades de los cuales se hará la recopilación y análisis.

- **Técnica.**

La técnica que se usará para la recolección de información es la **observación, experimentación estudio y análisis [88]** de muestras adquiridas de diferentes pacientes diagnosticados con diferentes enfermedades, esto para poder extraer las variables comunes que tengan estos pacientes y así poder realizar la correlación entre los signos, las partículas volátiles adquiridos de dichas muestras y la enfermedad que presenta el paciente.

- **Instrumentos recolección de información.**

Para la recolección de datos se usarán la ficha, estándares de estudio clínico y el dispositivo que se estará desarrollando con los cuales se medirán las diferentes partículas volátiles y se irá calibrando el dispositivo para el diagnóstico de las enfermedades dependiendo de la cantidad y concentración de partículas volátiles.

- **Para información adquirida.**

Para el análisis de la información, se requiere tenerla organizada, para eso se usarán tablas la cual permita dicho análisis, por esa razón la información adquirida a través de la observación y experimentación, se consignará en dichas tablas con las variables: el tipo de enfermedad, el compuesto orgánico volátil que se estudiará (COV) y el rango máximo y mínimo de dicho compuesto en la enfermedad, estos datos se registran en la tabla 1 y 2 en donde se consignarán las diferentes concentraciones de partículas volátiles por enfermedad y por sensor, esta información ya está organizada para su posterior procesamiento y tener un patrón claro de la concentración de cada COV por enfermedad y ajustar los parámetros.

- **Para analizar la información.**

La información se analizará mediante **tablas y matrices** de las cuales podremos sacar las correlaciones entre cada variable las cuales servirán para identificar cuáles son aquellos aspectos, variables o COV que están directamente relacionados con la enfermedad a estudiar, también se estudiará los pesos de cada variable para el Outcome al momento de generar el gráfico. La forma de **matriz y dataframe** es la forma en la que el algoritmo podrá entrenarse para identificar los parámetros y biomarcadores, los cuales encontrará mediante herramientas matemáticas y estadísticas como las medidas de dispersión, las medidas de tendencia central y regresión logística multivariable entre otras.

- **Para visualizar la información.**

Para mayor ilustración sobre los resultados del estudio, se realizará un análisis multivariable, la información se organizará en **tablas de frecuencia** la cual será de mucha utilidad al momento de hallar los parámetros, para la presentación y visualización de la información adquirida de las diferentes concentraciones y porcentajes de presencia de gases en el aliento se usarán **gráficos circulares y gráficos de barras apiladas**.

Cabe resaltar que también hay que tener en cuenta otros factores y variables los cuales no son muy útiles para la medición de los Compuestos Orgánicos Volátiles, pero si son útiles al momento del dictamen del diagnóstico, como la edad, sexo, si

su familia tiene antecedentes de presencia de dicha enfermedad, si fuma o no, entre otras variables.

- **Procedimiento.**

El procedimiento metodológico de una investigación brinda las herramientas que permiten instrumentar los indicadores, es decir, son las bases para el análisis estructural de la investigación, las etapas, los procesos para cumplir los objetivos específicos, mostrar desarrollo y la realidad del proyecto [88].

Este procedimiento metodológico consta generalmente de 5 etapas, estas etapas representan el proceso a seguir en el desarrollo del proyecto, estas 5 etapas son: investigación, diagnóstico, identificación, ejecución y evaluación [89].

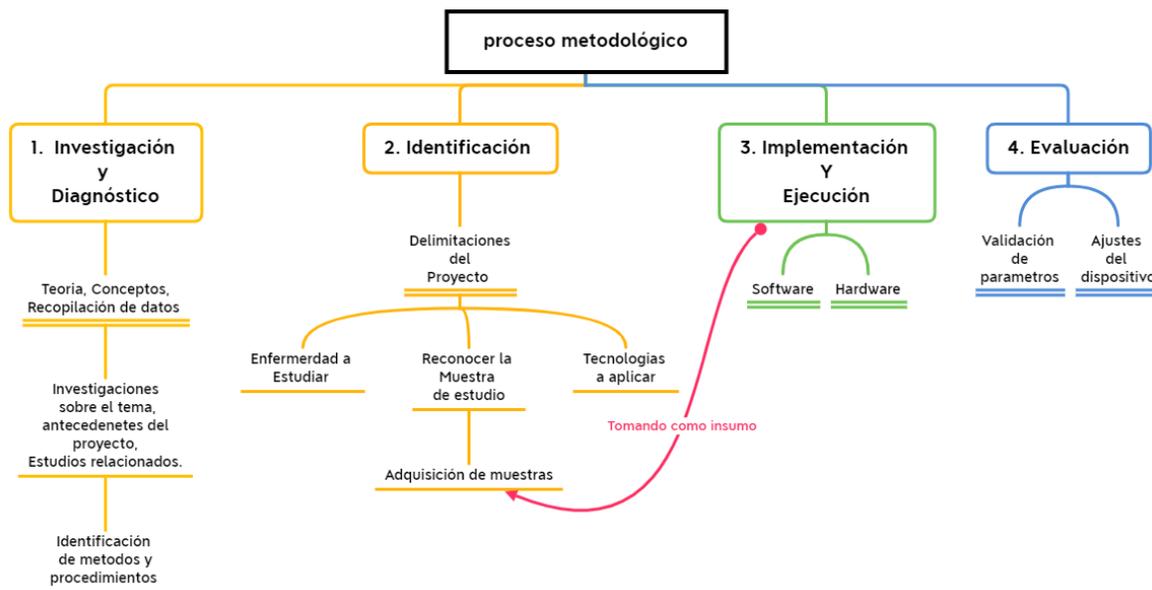


Ilustración 9 Flujograma del procedimiento metodológico.

La etapa 1 (**investigación y diagnósticos**) y la etapa 2 (**identificación**) están orientadas al completar el primer objetivo específico (**identificar métodos, procedimientos y análisis de adquisición de muestras no invasivas para el estudio de compuestos volátiles**), la tercera etapa (implementación y ejecución) donde se desarrolla el software, el algoritmo de análisis y el hardware corresponde al tercer objetivo específico (**implementar un dispositivo multisensorial a partir de un algoritmo de análisis multivariable que permita el análisis de las**

muestras adquiridas) y la cuarta etapa (**evaluación**) cumple con el tercer objetivo específico (**ajustar correctamente los parámetros y funcionamientos del dispositivo brindando resultados coherentes para el diagnóstico**).

4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO

Para la elaboración del producto se seguirá un cronograma establecido para ejecutar de manera exitosa los objetivos propuestos, también se estipularon las fechas donde se presentarán los entregables.

OBJETIVO 1	Identificar métodos, procedimientos y análisis de adquisición de muestras no invasivas para el estudio de compuestos volátiles.	10/11/2020	27/11/2020
Entregable # 1	Documento con los metodos y procedimientos clinicos	10/11/2020	17/11/2020
Actividad 1	Averiguar metodos de recolección de muestras de forma no invasiva	10/11/2020	11/11/2020
Tarea1	Investigar sobre los diagnosticos medicos	11/11/2020	12/11/2020
Tarea2	Conocer los diferentes procedimientos de extracción de muestras	12/11/2020	13/11/2020
Tarea3	Identificar los métodos que se ajusten a nuestro proyecto	13/11/2020	14/11/2020
Actividad 2	Conocer los procedimiento clinicos para las muestras adquiridas	14/11/2020	15/11/2020
Tarea1	Entender como se llevan a cabo los analisis clinicos de muestras de COV	15/11/2020	17/11/2020
Entregable # 2:	Documento final de estudio de compuesto volatiles	17/11/2020	27/11/2020
Actividad 3	Identificar los diferentes COV que tiene el aliento humano	17/11/2020	19/11/2020
Tarea1	Mecanica respiratoria.	19/11/2020	20/11/2020
Tarea2	Clasificacion de los compuestos organicos en el aliento.		
Tarea3	Excreción mediante el aire exhalado.	20/11/2020	21/11/2020
Actividad 4	COV de las diferentes enfermedades	21/11/2020	22/11/2020
Tarea1	Metabolitos en el aliento y patologías identificables, Compuestos orgánicos volátiles (COVs) en el aliento	22/11/2020	25/11/2020
Tarea 2	Identificar COVs de la enfermedad a estudiar.	25/11/2020	27/11/2020

Ilustración 10 Objetivo 1.

OBJETIVO 2	Implementar un dispositivo multisensorial a partir de un algoritmo de análisis multivariable que permita el análisis de las muestras adquiridas	1/12/2020	1/02/2021
Entregable # 3	Sistema multisensorial para adquirir muestras.	1/12/2020	10/01/2021
Actividad 5	Implementar sensores para adquirir muestras	1/12/2020	5/12/2020
Tarea1	Conocer las especificaciones de los sensores	5/12/2020	10/12/2020
Tarea2	Adquirir los insumos materiales	10/12/2020	20/12/2020
Tarea3	acoplar los sensores con el micro procesador (arduino) para la creación del algoritmo que captura las muestras de COV.	20/12/2020	10/01/2021
Entregable # 4	Algoritmo multivariable para el analisis de las muestras	10/01/2021	1/02/2021
Actividad 6	Diseñar software para el almacenamiento de la información adquirida	10/01/2021	14/01/2021
Tarea1	Desarrollar un algoritmo que permita medir las muestras adquiridas	14/01/2021	18/01/2021
Tarea2	Realizar un algoritmo que guarde en variables o base de datos las muestras	18/01/2021	22/01/2021
Actividad 7	Desarrollar software que permita el analisis de las muestras	22/01/2021	25/01/2021
Tarea1	Desarrollar algoritmi que clasifique los diferentes COV	25/01/2021	30/01/2021
Tarea2	Implementar codigo en el software que determine las diferentes concentraciones de cada COV	30/01/2021	2/02/2021

Ilustración 11 Objetivo 2.

OBJETIVO 3	Ajustar correctamente los parámetros y funcionamientos del dispositivo brindando resultados coherentes para el diagnóstico.	2/02/2021	10/03/2021
Entregable # 5	Parametros del analisis de muestras	2/02/2021	12/02/2021
Actividad 8	determinar los rangos de los diferentes marcadores del aliento humano	2/02/2021	5/02/2021
Tarea1	A partir de las muestras de los "sanos" y "enfermos" determinar cuales son los COV que predominan es sus diferentes concentraciones	5/02/2021	6/02/2021
Tarea2	Conocer las diferentes concentraciones de COV de los "enfermos"	6/02/2021	10/02/2021
Tarea3	Correlacionar las diferentes concentraciones con las enfermedades que presentan las muestras de los "enfermos"	10/02/2021	12/02/2021
Entregable # 6	Dispositivo capaz de dar un dictamen de diagnostico.	12/02/2021	23/02/2021
Actividad 9	Ajustar los biomarcadores para el correcto analisis de las muestras.	12/02/2021	15/02/2021
Tarea1	Con la adquisición de nuevas muestras verificar que el modelo y paramtros este se ajuste al estudio realizado	15/02/2021	17/02/2021
Tarea2	Verificar con las diferentes bases de datos	17/02/2021	20/02/2021
Actividad 10	Implementar en el sistema un dispositivo que permita la visualización de los resultados	20/02/2021	21/02/2021
Tarea1	Procesar la información para su visualización de modo que sea util para el usuario	21/02/2021	23/02/2021
Entregable # 7	Ajustes finales del dispositivo.	23/02/2021	10/03/2021
Actividad 11	Incorporar las disposiciones finales para el producto final.	23/02/2021	27/02/2021
Tarea1	Ajustar la terminologia al area medica.	27/02/2021	28/02/2021
Tarea2	Verificar que se cumpla con el tratamiento seguro de datos	28/02/2021	3/03/2021
Tarea3	Verificar que cumpla con los requisitos de higiene	3/03/2021	5/03/2021
Tarea4	Verificar que cumpla con las normas del decreto 4725 del 200	5/03/2021	7/03/2021
Tarea5	Aplicar la norma ISO 13485	7/03/2021	10/03/2021

Ilustración 12 Objetivo 3.

5. PRESUPUESTO

5.1. PRESUPUESTO GENERAL

Tabla 1 Presupuesto general.

	FORMATO DE PRESUPUESTO PARA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN CONVOCATORIAS INTERNAS				GI-02-PR-03-F02
					Versión 1
					12/06/2019
PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO					
RUBROS	Fuentes de Financiamiento				Total
	Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Otras fuentes Externas	Contrapartida UAC	
1. Personal Científico	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 27.943.296	\$ 27.943.296
2. Personal de Apoyo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 819.200	\$ 819.200

3. Consultaría especializada y Servicios Técnicos externos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,0
4. Materiales e Insumos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 2.187.000	\$ 0,00	\$ 2.187.000
5. Trabajo de Campo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,0
6. Equipos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 1.500.000	\$ 0,00	\$ 1.500.000
7. Bibliografía	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,0
8. Material de difusión y Promoción de resultados	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,0
TOTAL, PRESUPUESTO DEL PROYECTO	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 3.687.000	\$ 28.762.496	\$ 32.449.496

5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO

El presupuesto invertido en este rubro consiste en el costo del tiempo empleado por el personal de investigación vinculados a este proyecto, que incluye a los directores y a los auxiliares de investigación.

Tabla 2 Costo personal científico.

1. PERSONAL CIENTÍFICO										
Nombres y Apellidos	Tipo de Contrato	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Kelvin	Titular	Investigador Principal	\$ 117.886	4	32				\$ 15.089.408	\$ 15.089.408
2. Carlos	Asociado	Coinvestigador	\$ 100.421	4	32				\$ 12.853.888	\$ 12.853.888
	N/A									
SUB-TOTAL									\$ 27.943.296	\$ 27.943.296

Tabla 3 Costo personal de apoyo.

2. PERSONAL DE APOYO								
Nombre s y Apellid os	Tipo de Vinculaci ón	Función dentro del Proyecto	Valo r Hor a (\$)	Dedicación Horas/sema na	No. de Seman as	Fuentes de Financiamiento		
						Vicerrectoría de Investigacion es y transferencia	INVESTIGADOR ES	SUB- TOTA L
1. Felipe González	Practicant e	Auxiliar de Investigaci ón	\$ 3.200	4	32			\$ 409.60 0
2. Felipe Niño	Practicant e	Auxiliar de Investigaci ón	\$ 3.200	4	32			\$ 409.60 0
3.	N/A							
4.	N/A							
<i>SUB-TOTAL</i>								\$ 819.20 0

5.3. CONSULTORÍA ESPECIALIZADA

Tabla 4. Costo de consultoría especializada.

3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA Y SERVICIOS TÉCNICOS EXTERNOS				
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento		
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	SUB- TOTAL
1.				\$ 0
2.				\$ 0
3.				\$ 0
<i>SUB-TOTAL</i>		\$ 0	\$ 0	\$ 0

5.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

El presupuesto dedicado a esta sección incluye

Tabla 5 Costo de materiales e insumos.

4. MATERIALES E INSUMOS						
Fuentes de Financiamiento						
Descripción	Justificación	Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	Otras Fuentes externas	SUB-TOTAL
1. Raspberry	ordenador de placa reducida contendrá el software que analice los datos obtenidos además de ser el cerebro del sistema multisensorial				\$ 250.000	\$ 250.000
2. Arduino	Microprocesador el cual captará y medirá las muestras adquiridas				\$ 67.000	\$ 67.000
3. Kit sensores MQ Arduino	Es el sensor que captará los Compuestos orgánicos volátiles				\$ 80.000	\$ 80.000
4. Cables de conexión	Conectar los dispositivos entre si				\$ 50.000	\$ 50.000
5. Pantalla LCD 7"	Donde se visualizarán los resultados para el usuario				\$ 290.000	\$ 290.000
6. Impresora 3D	Para poder fabricar las piezas				\$ 1.450.000	\$ 1.450.000
7.						
8. I						
SUB-TOTAL					\$ 2.187.000	\$ 2.187.000

Tabla 6. Costo trabajo de campo.

5. TRABAJO DE CAMPO

Descripción	Justificación	No. De días	No. De personas	Costo/día de estadía por persona	Transporte por persona (ida/vuelta)	Fuentes de Financiamiento			
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1.		21	2			\$ 0			0
							\$ 0		\$ 0
								\$ 0	\$ 0
<i>SUB-TOTAL</i>						\$ 0	\$	\$ 0	\$

Tabla 7 Costo equipos usados

6. EQUIPOS							
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento				
			Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	Otras fuentes externas	SUB-TOTAL
1. Computador	Es en donde se desarrollará el algoritmo y el software que analizará los datos	1				\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
2.							\$ 0
3.							\$ 0
4.							\$ 0
5.							\$ 0
<i>SUB-TOTAL</i>			\$ 0	\$ 0		\$ 0	\$ 1.500.000

6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO

El diseño y creación del primer prototipo corresponde a la necesidad inmediata de realizar el código para la lectura de los sensores MQ implementados y la comunicación entre el Arduino y el intérprete de Python.

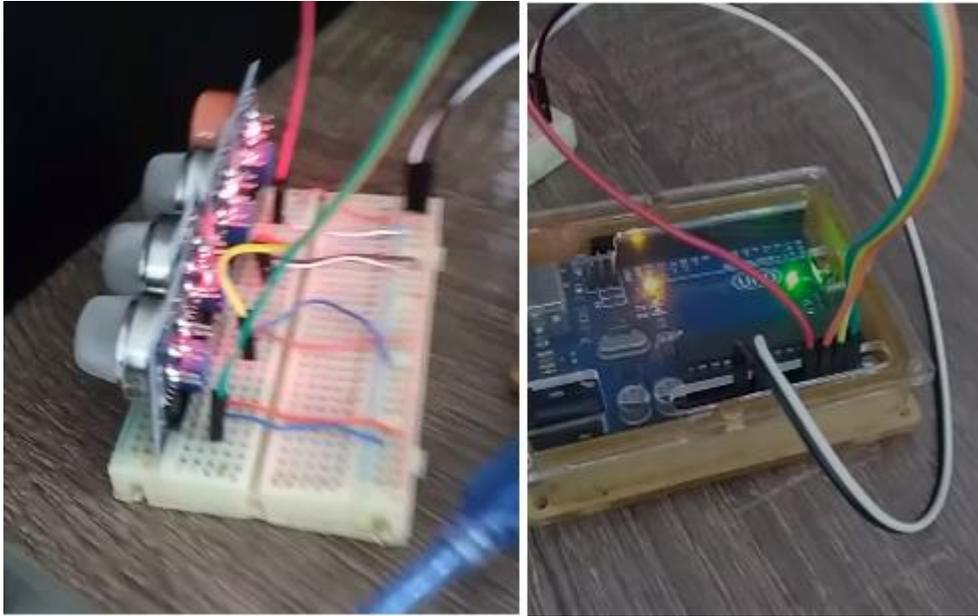


Ilustración 13 Alambrado de primer prototipo.

Seguidamente se realizó el primer CAD (de autoría propia) del prototipo del dispositivo en SolidWorks, con el fin de organizar el espacio interno de los componentes.

6.1.1. Especificaciones del CAD del prototipo.

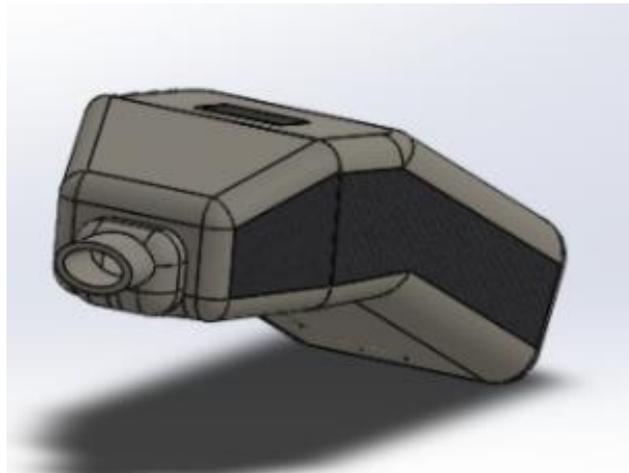


Ilustración 14 Vista diagonal del CAD.

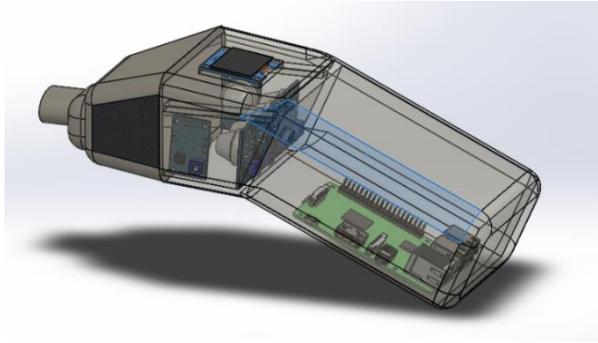


Ilustración 15 Vista lateral del CAD con exterior transparente.

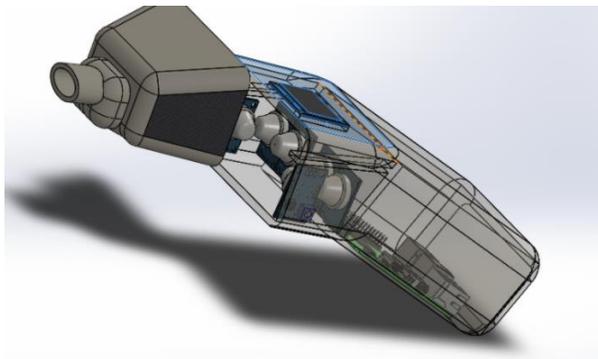


Ilustración 16 vista lateral del CAD con exterior transparente y bucal expuesto

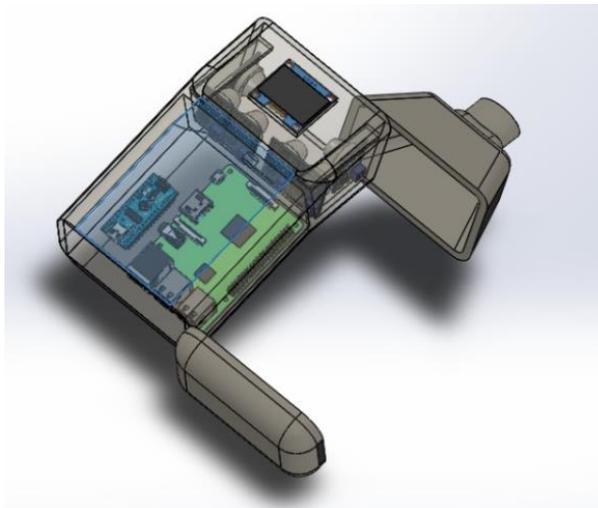


Ilustración 17 vista superior de las tres piezas

6.1.2. Código Prueba Arduino.

```
//////////////////////////////////////////////////////////////////PRUEBA DE CODIGO MQS//////////////////////////////////////////////////////////////////
float estimacion1; //sensor 1.          ////////////////////////////////////////////////////////////////////
float estimacion2; //sensor 2.          ////////////////////////////////////////////////////////////////////
float estimacion3; //sensor 3.          ////////////////////////////////////////////////////////////////////
float estimacion4; //sensor 4.          ////////////////////////////////////////////////////////////////////
float estimacion5; //sensor 5.          ////////////////////////////////////////////////////////////////////
float estimacion6; //sensor 6.          ////////////////////////////////////////////////////////////////////
//////////////////////////////////////////////////////////////////
void setup() {
  Serial.begin (9600);
}
//////////////////////////////////////////////////////////////////
void loop() {
  estimacion1 = analogRead(A0); //salida 0
  Serial.print(",");
  Serial.print(estimacion1); //impresion
  estimacion2 = analogRead(A1); //salida 1
  Serial.print(", ");
  Serial.print(estimacion2); //impresion
  estimacion3 = analogRead(A2); //salida 2
  Serial.print(",");
  Serial.print(estimacion3); //impresion
  estimacion4 = analogRead(A3); //salida 3
  Serial.print(",");
  Serial.println(estimacion4); //impresion
  delay(450);
}
//////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Ilustración 18 Código de prueba Arduino.

6.1.3. Código prueba Python.

```
import serial
import os
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
plt.style.use('seaborn')

# Creamos el objeto del puerto serial
serial = serial.Serial('/dev/ttyACM0',9600)

# Creamos la variable donde ser guardarán las muestras
lectura = []

# mientras el puerto serial este abierto
while serial.isOpen():
    # leemos toda la linea del puerto serial
    linea_serial = serial.readline()
    # la guardamos en lectura
    lectura.append(linea_serial.decode().replace('\n','').replace('\n',''))
    # solo tomamos 100 muestras
    if len(lectura) >= 60:
        break
serial.close() # cerramos puerto serial

lectura = lectura[10:]

for dato in range(len(lectura)):
    lectura[dato] = lectura[dato].split(',')
    for i in range(len(lectura[dato])):
        lectura[dato][i] = float(lectura[dato][i])

Columnas = ['s1','s2','s3','s4']
df = pd.DataFrame(columns=Columnas, data=lectura)

df.to_csv('lectura_serial.csv',index=False)
```

Ilustración 19 Código de prueba Python.

6.2. DISEÑO DISPOSITIVO FINAL

El dispositivo final cuenta con un matriz de 4 sensores MQ los cuales son los responsables del análisis de las partículas volátiles, estos pasan la información al Arduino UNO el cual tiene la función de ser el encoder que suministrará la lectura de los sensores MQ a la Raspberry Pi de una forma legible y entendible. La Raspberry Pi es el cerebro del dispositivo, en este se estará ejecutando unos códigos en Python que procesan las mediciones y dan un dictamen que servirá como suministro para la persona que está realizando la operación con el dispositivo.



Ilustración 20 Imagen completa del dispositivo final.

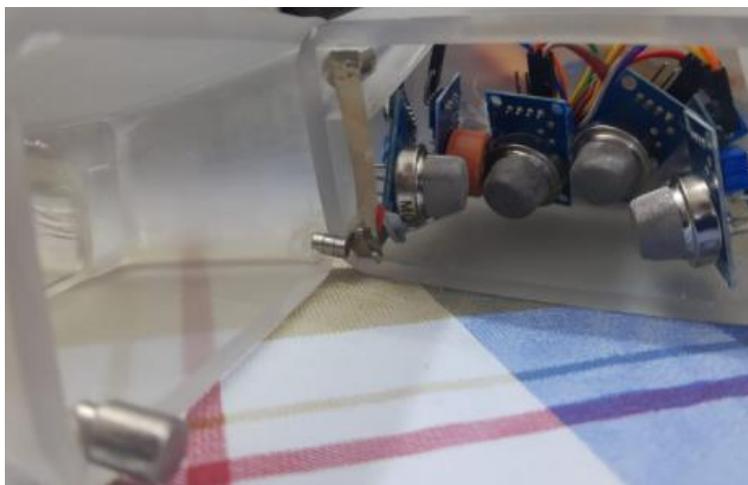


Ilustración 21 Imagen de la matriz de sensores MQ del dispositivo final.



Ilustración 22 Imagen de las placas del dispositivo final.

6.2.1. Dimensiones del dispositivo.

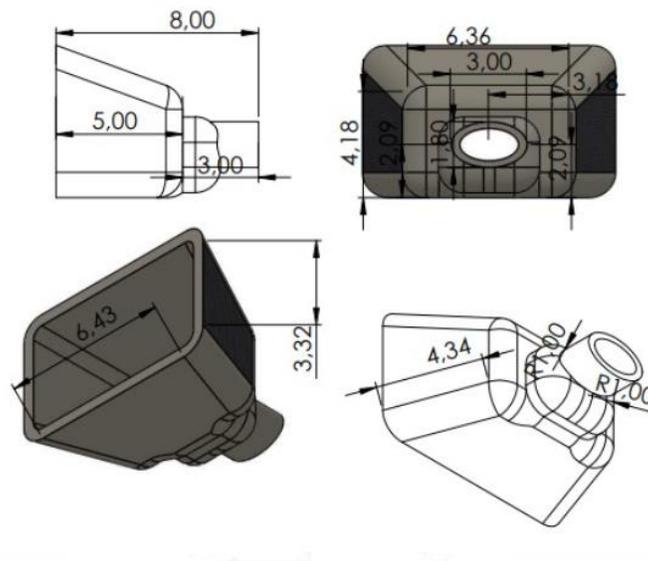


Ilustración 23 primera pieza del prototipo

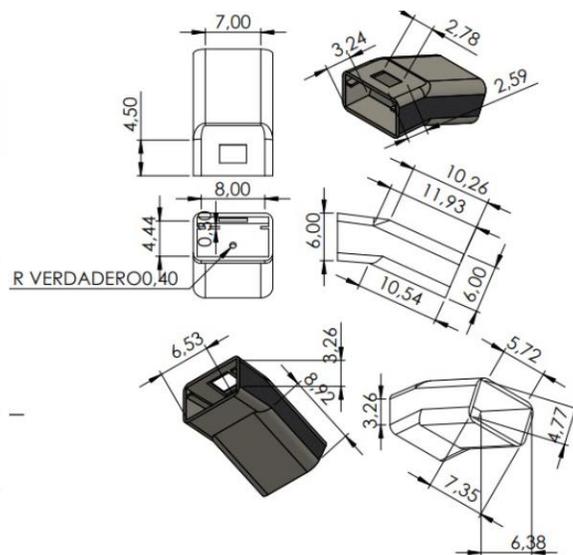


Ilustración 24 segunda pieza del prototipo

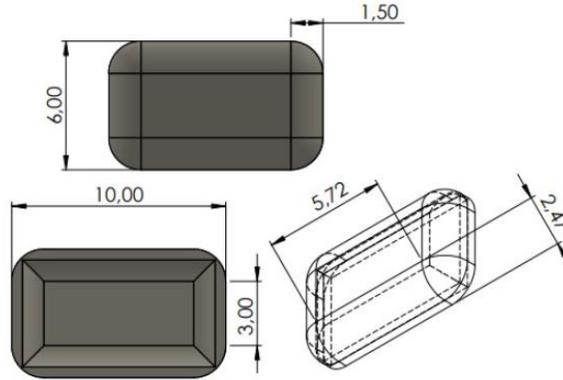


Ilustración 25 tercera pieza del prototipo

Analizando las propiedades de masa del prototipo de ensamble, usando como material la cera, un material parecido al PLA y ABS que se usa en las impresiones 3D:

- Masa = 367.24 gramos
- Volumen = 367.24 centímetros cúbicos
- Área de superficie = 1824.14 centímetros cuadrados

6.3. MATERIALES

6.3.1. ORDENADOR.

Se seleccionó un ordenador para el desarrollo del dispositivo como plataforma de soporte del programa principal, ya que es uno de los microprocesadores más comunes en el mercado y de uso general, cuenta con los requerimientos y características necesarias para soportar el programa de manera óptima y cuenta con los puertos necesarios para la conexión que son los puertos USB para una comunicación serial con el Arduino.

6.3.2. SENSORES SERIE MQ.

Los sensores de la Serie MQ son el pilar del dispositivo ya que son los encargados de capturar los COV, son los que conectan el exterior con el software, son el transductor que captan los diferentes tipos de gases y concentraciones que

traducen en señales analógicas correspondientes entre 0 y 1024, esta señal se puede modelar, interpretar en intervalos de 0V a 5V que, mediante el análisis de las concentraciones dentro de diferentes espectros de rango, se puede dar su caracterización.



Ilustración 26 Sensores MQ usados en el proyecto.

6.3.3. ARDUINO UNO

Este microcontrolador es el encargado de leer las señales captadas por el sensor MQ, para ello cuenta con 7 pines analógicos en los cuales se conectarán dichos sensores y se conectará igualmente a la Raspberry, siendo así el puente de conexión entre estos dos dispositivos, adicionalmente este dispositivo cuenta con una interfaz fácil de manejar, es de código abierto y cuenta con un precio asequible en el mercado en general.



Ilustración 27 Arduino NANO usado en el proyecto

6.3.4. RESINA.

Este es el material amorfo es usado en las impresoras 3D Estereolitografía (SLA), en este caso se usó para la elaboración del dispositivo ya que es capaz de modelar la estructura del diseñado CAD, este material al no ser conductor es apto para servir de contenedor de las piezas electrónicas, si bien la impresora 3D cuenta con un costo elevado, este material presenta un gran beneficio al momento de la construcción del dispositivo por sus buenos acabados, su resistencia y su reproducibilidad.



Ilustración 28 resina de impresión 3D.

6.4. RECOLECCIÓN DE DATOS

Teniendo en cuenta el uso de técnicas de machine Learning / Deep Learning para la calibración del dispositivo, identificación de patrones y correlacionamiento de las diferentes variables, se entiende la importancia de datos de calidad para el entrenamiento del respectivo modelo, como será un modelo de aprendizaje supervisado, se tendrán en cuenta diferentes muestras de diferentes pacientes y conociendo el diagnostico de dicho paciente, esto hará que el modelo pueda asociar e identificar de manera correcta las diferente variables, lo cual hará un modelo eficiente y capaz de brindar un buen diagnóstico.

6.4.1. MUESTRA POBLACIONAL.

Las muestras tomadas de la población es de tipo cuantitativo y correlativo ya que se medirán las concentraciones de los gases y su relación con ciertas enfermedades, la población será de tipo no aleatorio ya que se escogerán pacientes con ciertas enfermedades que produzcan cierto tipo de COV, también se escogerán pacientes sanos y pacientes con padecimiento de la enfermedad, para eso se escogió la población de pacientes que se puedan beneficiar del dispositivo.

6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se creó un dispositivo capaz de orquestar un conjunto de sensores de una misma familia pero de diferentes características para la medida de partículas con naturaleza volátil, con el objetivo de realizar análisis sobre los distintos compuestos que pueden ser captados de pacientes, para dicho propósito fue necesaria la parametrización y linealización de los sensores integrantes del sistema y la correcta adecuación del ambiente en el cual van a funcionar dichos sensores, de manera conjunta con otros procesos internos los cuales son vitales en el análisis de muestras volátiles permitiendo mejorar por mucho la recolección de dichas muestras.

Gracias a la enorme compatibilidad de Arduino y Python, y su característica de software libre, fue posible esta recolección de muestras y el análisis de un amplio espectro de compuestos volátiles ya que se pueden parametrizar compuestos por su concentración de: Hidrogeno, etanol, oxigeno, dióxido de carbono, GLP, butano, humo y otros gases flaméales e inoloros que pueden ser captados por la matriz para futuros avances tecnológicos y en el área de la salud, lo cual abarca desarrollos de mejores técnicas para el muestreo e identificación de compuestos y como su identificación y análisis son de gran ayuda para el medico al momento de adquirir una muestra de esta naturaleza y el tener la capacidad de a partir de bases solidad, poder realizar un diagnóstico.

6.5.1. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO

Para el análisis de estas muestras se usaron los sensores MQ 2,3,4,5,7,8 que captan gases como el Metano, Butano, Etanol, Humo, LPG, Gas Natural, Monóxido de Carbono, Gas Hidrogeno, entre otros gases.

Para ver las muestras tomadas se usará el serial plotter de Arduino, la librería de Python Matplotlib y software de visualización de datos en los cuales visualizaremos y analizaremos las muestras, las gráficas se generarán en el dominio del tiempo, por ende, en su eje x se estará mostrando la muestra tomada en el tiempo y en el eje Y representará la muestra tomada por concentración, generalmente en partículas por millón.

En el análisis de prueba del dispositivo, se caracterizó y calibró cada uno de los sensores con diferentes muestras, estas muestras fueron usadas como parte del procedimiento para encontrar las ecuaciones de tendencia del dispositivo frente a las diferentes partículas y visualizar el comportamiento mostrando en el eje X la sensibilidad resistiva frente a Y que corresponde al valor medido en % o PPM dependiendo del caso.

Los frutos de esta caracterización son los valores que fueron usados para la programación del dispositivo y el rango de funcionamiento del dispositivo.

El primer paso en el procedimiento sistemático con el cual se realizó la caracterización y calibración de los sensores es seleccionar el sensor en cuestión y su respectivo DataSheet para tener presente que tipos de gases son los que detecta y nos dirigiremos a su grafico característico para observar el comportamiento modelo del sensor.

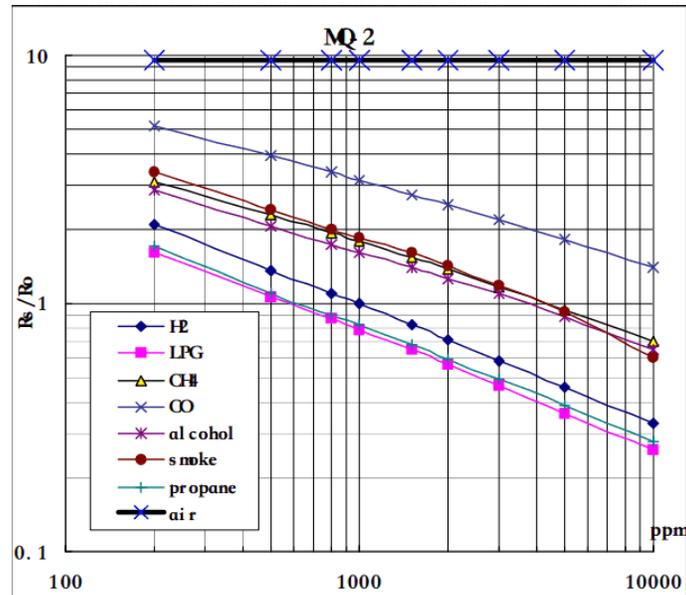


Ilustración 29 Gráfica característica del sensor MQ2, DataSheet 370464.

Para lograr extraer la ecuación característica de la gráfica, se utilizó un programa llamado **webplotdigitizer** el cual permite crear un plano cartesiano, generar un conjunto de datos y su ecuación teniendo como insumo unos puntos ubicados en el espacio.

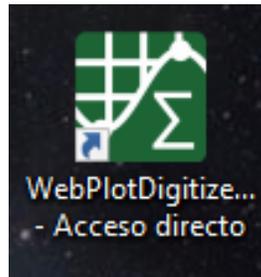


Ilustración 30 Icono de acceso directo al ejecutable de Webplotdigitizer.

Para poder generar dicha ecuación característica primero hay que definir las dimensiones del plano en donde se van a asignar los puntos para posteriormente hacer el análisis y el cálculo de la ecuación, así que, colocando la gráfica del sensor MQ2 de fondo, asignamos los puntos x_1, y_1 al origen y el punto $0, y_2$ al eje Y y el punto $x_2, 0$ al eje X.

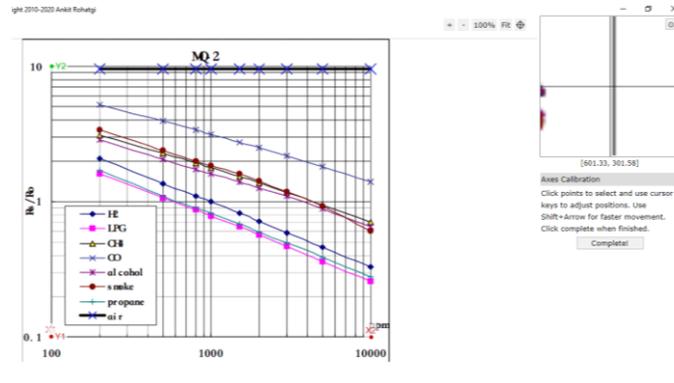


Ilustración 31 Preparación del plano cartesiano en el programa de webplotdigitizer.

Seguidamente se señalan los puntos de sensibles de la línea del gas a examinar en la gráfica característica del sensor, estos puntos de sensibilidad vienen indicados en la gráfica del sensor, lo cual hace más fácil reconocerlos.

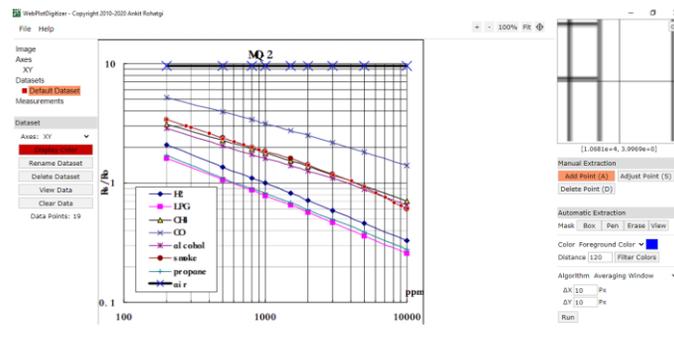


Ilustración 32 indicación de los puntos sensibles de la gráfica del sensor MQ2.

Luego el programa generará un conjunto de datos en un archivo csv, el cual descargaremos, estos posteriormente se importarán en un Excel en la cual se trazará una tabla de dispersión y la ecuación de este conjunto de datos.

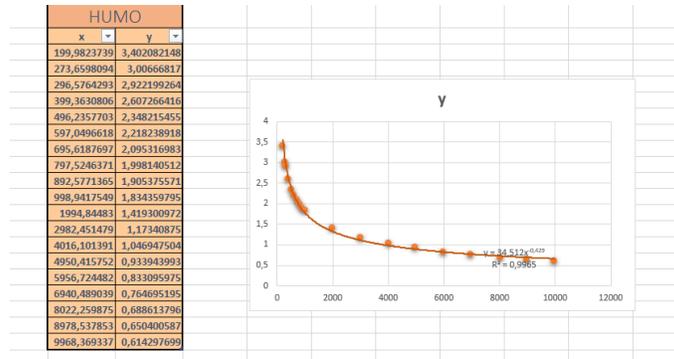


Ilustración 33 Gráfica de datos generados por el programa webplotdigitizer.

Para calcular las partículas por millón de la gráfica en cuestión es necesario transformar la gráfica a lineal, lo cual se realiza mediante la función de logaritmo natural, de la cual también sacamos los términos característicos.

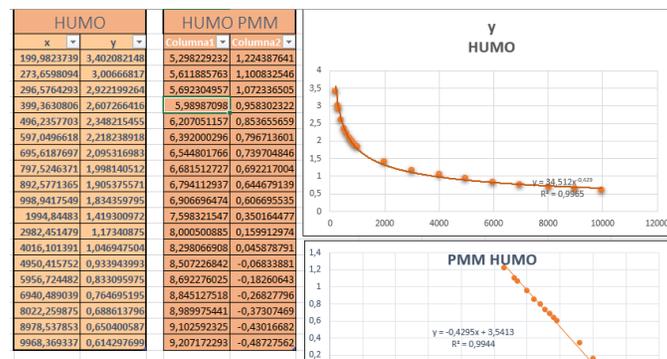


Ilustración 34 función lineal de la gráfica del sensor.

```

42
43 float SmokeCurve [3] = {3.5413, 0.9944, -0.4295};
44

```

Ilustración 35 Términos característicos de la función lineal del sensor.

Seguidamente se verificará el estado de los sensores, para dicho propósito, se purgan los sensores dejándolos conectados durante 24 horas para que eliminen cualquier residuo de gases que puedan tener de la fabricación y que puedan obstaculizar las lecturas. Los sensores se conectaron en paralelo se la siguiente forma

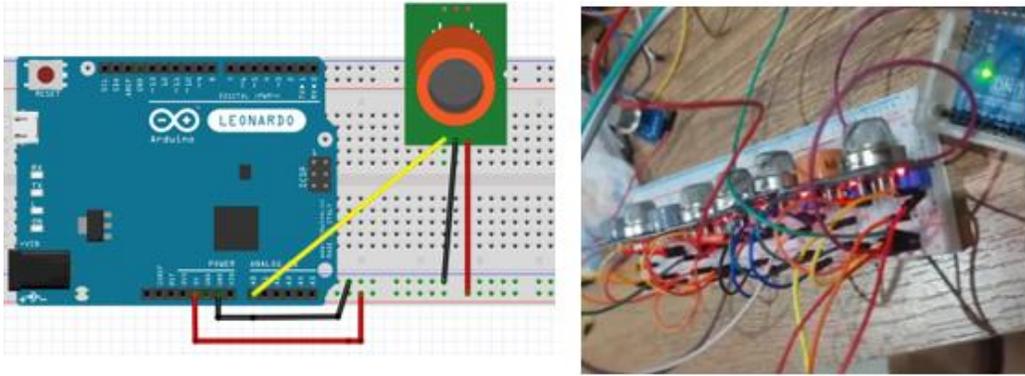


Ilustración 36 Conexión de los sensores para el purgado.

Luego del purgado, se procede a realizar una medición del ambiente, el cual se tendrá como referencia para la calibración del código de los sensores.

```

particular_por_millon_gpm Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

particular_por_millon_gpm
1 void setup() {
2   Serial.begin(9600);
3 }
4
5 void loop() {
6   float voltajeSensor;
7   float RS_Air;
8   float R0;
9   float sensorValue = 0;
10
11   for (int x = 0; x < 10; x++)
12   {
13     sensorValue = sensorValue + analogRead(A0);
14     delay(10);
15   }
16   sensorValue = sensorValue / 10;
17   voltajeSensor = sensorValue * 5.0 / 1023;
18   RS_Air = 18.0 * voltajeSensor;
19   R0 = RS_Air / 0.5;
20   Serial.print("Voltaje ");
21   Serial.print(voltajeSensor);
22   Serial.println("");
23   //con el valor de v en representacion del voltaje y7 un espacio
24
25   Serial.print("R0 = ");
26   Serial.print(R0);
27   Serial.println("");
28   delay(1000);
29 }
30
31 El Sketch usa 3715 bytes (11%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
32 Las variables Globales usan 230 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 1918 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

```

Ilustración 37 Resultado en el puerto serial de la medición del ambiente.

Para la calibración de los sensores para hallar RS/R0, se colocará el valor de 0.42 =R0 en la línea de Código.

```

segundo_codigo_mqs Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

segundo_codigo_mqs
1 void setup() {
2   Serial.begin(9600);
3 }
4
5 void loop() {
6
7   float sensor_volt;
8   float RS_gas; //evalua el gas
9   float ratio; // divide RS/R0
10  int sensorValue = analogRead(A0);
11  sensor_volt=(float)sensorValue/1024*5.0;
12  RS_gas = (5.0-sensor_volt)/sensor_volt; // omitimos RL ya que es uno y nos daría el mismo valor
13 //reemplazamos el valor R0
14  ratio = RS_gas/0.42; // ratio = RS/R0
15
16  Serial.print("sensor_volt = ");
17  Serial.println(sensor_volt);
18  Serial.print("RS_gas = ");
19  Serial.println(RS_gas);
20  Serial.print("R0 = ");
21  Serial.println(ratio);
22
23  Serial.print("\n\n");
24
25  delay(1000);
26 }
27 }

Compilado
El Sketch usa 3594 bytes (11%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 238 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 1810 bytes para las variables l...

13 //reemplazamos el valor R0
14  ratio = RS_gas/0.42; // ratio = RS/R0
15

```

Ilustración 38 Incorporamos en el código el valor registrado en la medición.

Luego calculamos el factor de ppm para cada sensor y se incorpora en el código.

```

CODIGO_DE_MQ_ESTE Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

CODIGO_DE_MQ_ESTE
4 const int MQ_UNO = A0;
5 const int MQ_DOS = A1;
6 const int MQ_TRES = A2;
7 const int MQ_CUATRO = A3;
8 const int MQ_CINCO = A4;
9 const int MQ_SEIS = A5;
10 ///////////////////////////////////////////////////
11 int RL_VALOR1 = 1;
12 int RL_VALOR2 = 1;
13 int RL_VALOR3 = 1;
14 int RL_VALOR4 = 1;
15 int RL_VALOR5 = 1;
16 int RL_VALOR6 = 1;
17 float RO_FACTOR_UNO = 9;
18 float RO_FACTOR_DOS = 9;
19 float RO_FACTOR_TRES = 9;
20 float RO_FACTOR_CUATRO = 9;
21 float RO_FACTOR_CINCO = 9;
22 float RO_FACTOR_SEIS = 9;
23 ///////////////////////////////////////////////////
24 int CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL=50;
25 int CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL=50;
26
27 int READ_SAMPLE_INTERVAL=50; //ESCRIBIMOS LA CANTIDAD DE LECTURA DEL SENSOR EN ESTADO NOR
28 int READ_SAMPLE_TIMES=5;
29

```

Ilustración 39 Resultado de la calibración del sensor.

Del mismo modo se realizó el análisis y la calibración de cada sensor a los gases que les corresponden, para posteriormente usar esos parámetros al momento de realizar las muestras.

Para el sensor MQ2 obtuvimos los siguientes comportamientos con sus respectivas gráficas.

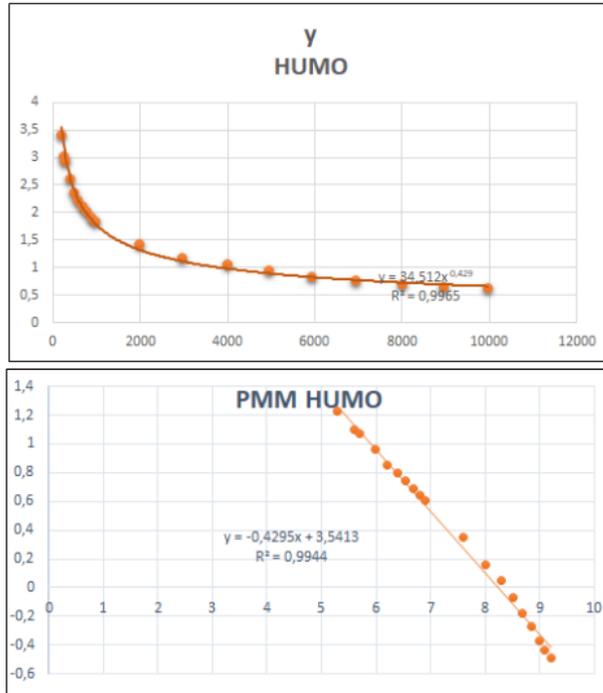


Ilustración 40 Caracterización de la gráfica del humo.

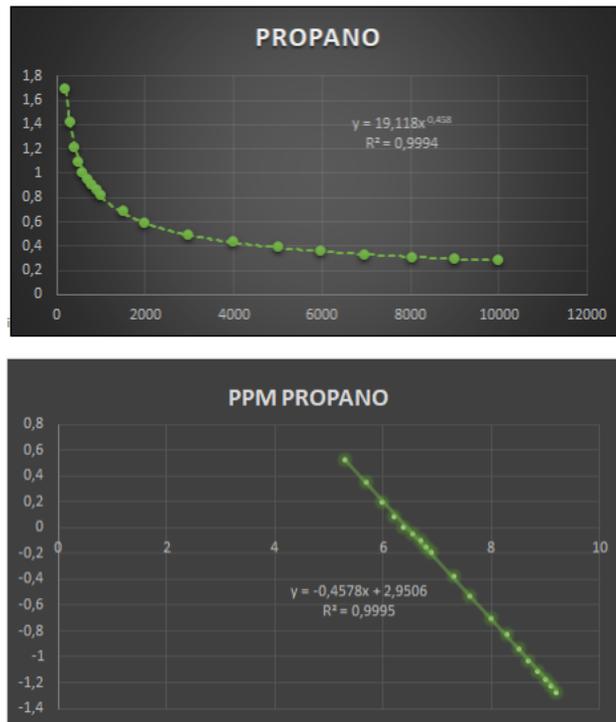


Ilustración 41 Caracterización de la gráfica del propano.

Para manipulación del segundo sensor (MQ3) usaremos el siguiente gas.

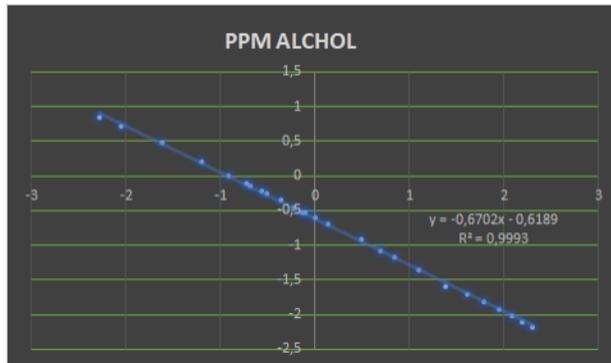
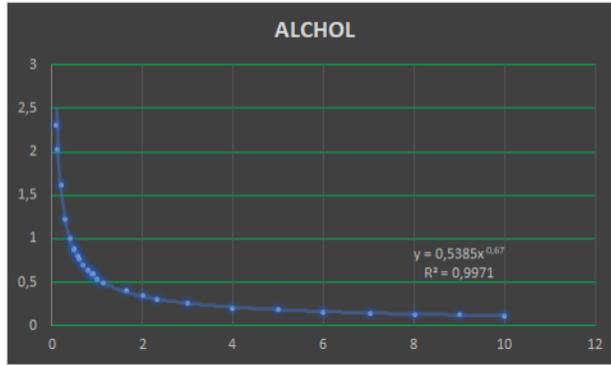


Ilustración 42 Caracterización de la gráfica del alcohol.

Para el sensor MQ4 usaremos el siguiente gas metano.

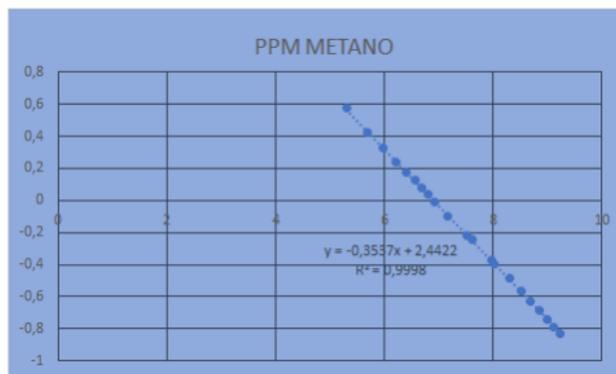
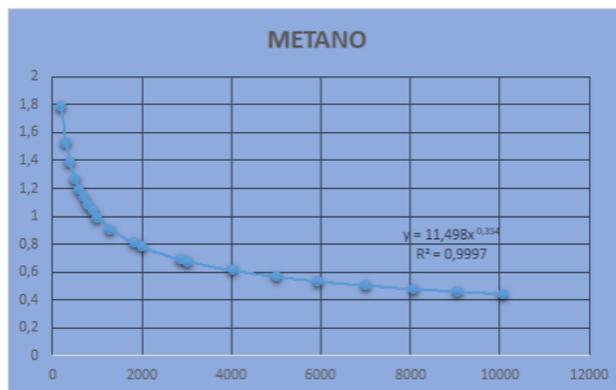


Ilustración 43 Caracterización de la gráfica del metano.

Para el sensor MQ5 se utilizó la caracterización del Hidrogeno.

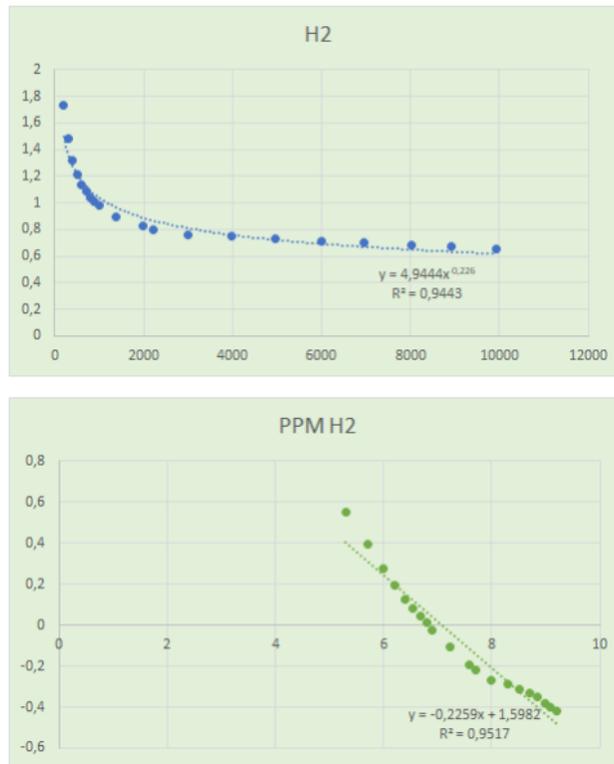
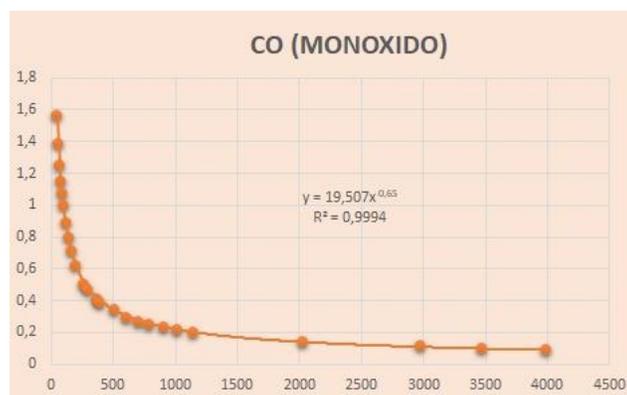


Ilustración 44 Caracterización de la gráfica del hidrogeno.

Para el sensor MQ7 se usó la caracterización del Monóxido de carbono.



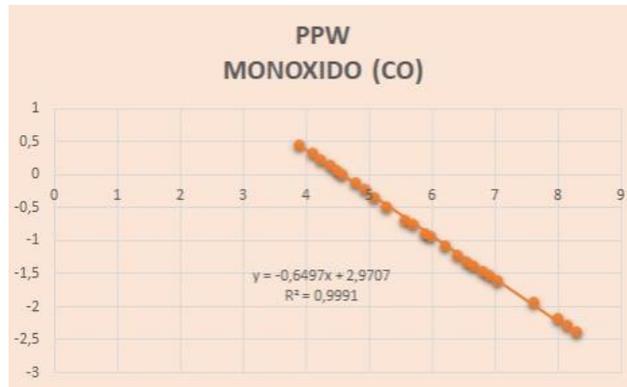


Ilustración 45 Caracterización de la gráfica del Monóxido de carbono.

6.5.2. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL

Para el análisis de pruebas por el dispositivo final se tuvieron en cuenta el tiempo de calentamiento de los sensores MQ, luego usamos un cuarto limpio en forma aérea y sin ningún olor que perturbara, conectamos el dispositivo al computador le damos la orden al sistema embebido de calibrar y tomar datos a tiempo real, según la exigencia de cada componente volátil a estudiar se usaron diferentes componentes a hacer testeados por el dispositivo, como: humo, biomasa derivada de la madera, aliento de persona, aliento de animal, gas natural entre otras, para asegurar que se hacía correctamente cada prueba se retiraba la boquilla del dispositivo y se ventilaba con aire para la eliminación de residuos de testeos anteriores.

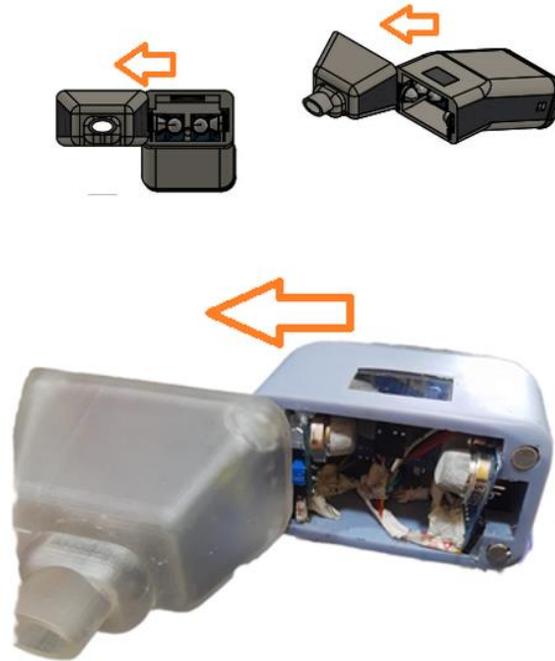


Ilustración 46 Muestra del sistema interior multisensorial.

Para asegurar que todo esto fuera correcto teníamos una tabla de calibración de cada sensor donde nos permitía saber que cada sensor estaba en óptimas condiciones.

Columna1	SENSORES	PRIMER CODIGO R0	SEGUNDO CODIGO R0/RS	PUERTO AR	NUMERO DE SENSOR
1	MQ2	0,42	9,63	A0	1
2	MQ3	0,53	9,82	A1	2
3	MQ4	0,26	9,83	A2	3
4	MQ5	0,35	10,1		
5	MQ6	0,73	9,76		
6	MQ7	0,81	9,66	A3	4
7	MQ8	0,86	9,86	A4	5
8	MQ9	0,42	10,8		
9	MQ135	0,38	9,81	A5	6

Ilustración 47 Tabla general de propiedades de los sensores.

MQ2

El sensor MQ2 es un dispositivo que contiene una resistencia para detectar la sensibilidad de un gas en el aire como el humo de combustibles fósiles, propano, gas de licuado de petróleo entre otros con diferente sensibilidad.

HANWEI ELETRONICS CO.,LTD	MQ-2	http://www.hwsensor.com
TECHNICAL DATA	MQ-2 GAS SENSOR	
FEATURES	Wide detecting scope	Fast response and High sensitivity
	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, i-butane, propane, methane ,alcohol, Hydrogen, smoke.	

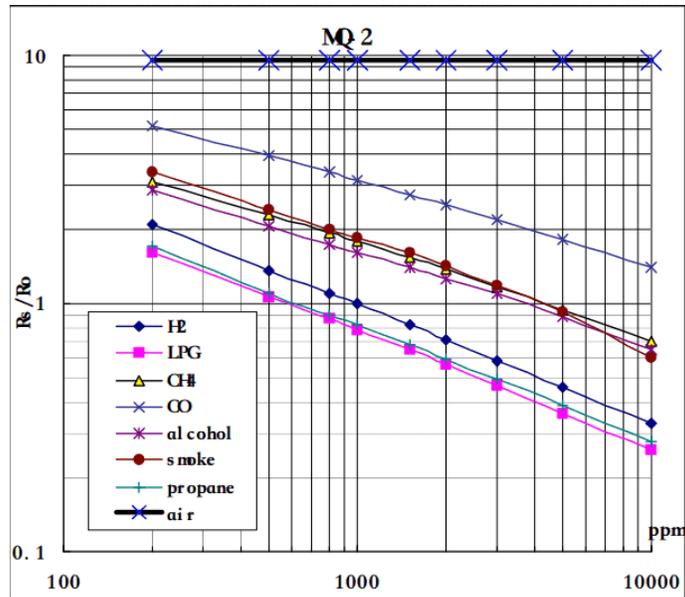


Ilustración 48 información general y gráfica característica del MQ2.

Para la calibración del sensor se utilizó los 3 puntos de la pendiente que se sacaron del datasheet.

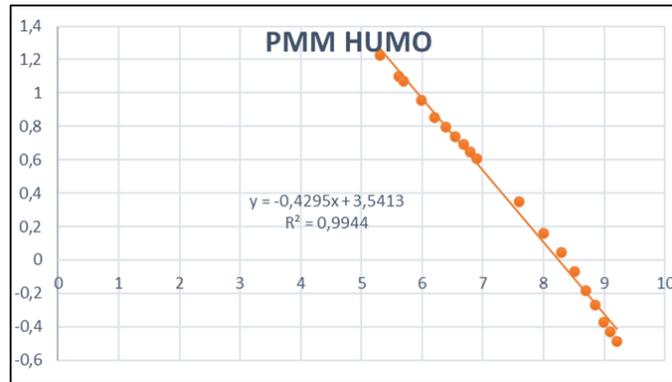


Ilustración 49 Gráfica calculada del MQ2.

Como podemos ver en la siguiente gráfica detectamos humo que es representado con azul oscuro en la prueba que fue exhalado por una persona y nos dio resultados buenos por los rangos de humo emitidos con el datasheet.

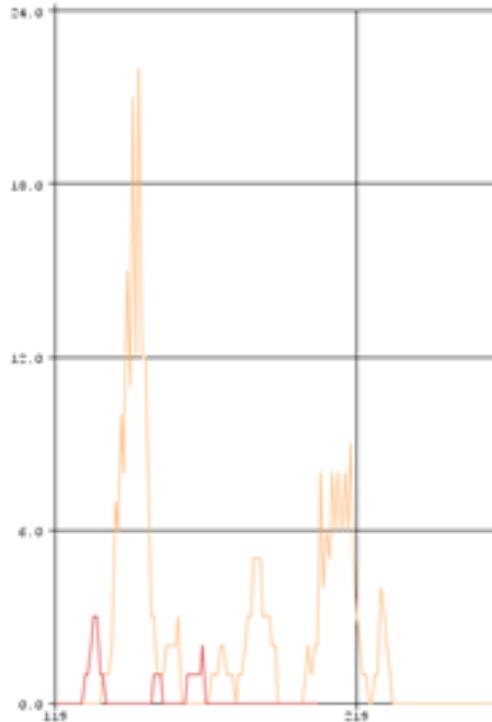


Ilustración 50 Gráfica de mediciones del MQ2.

C. Sensitivity characteristic			
Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R_s	Sensing Resistance	$3K \Omega - 30K \Omega$ (1000ppm iso-butane)	Detecting concentration scope: 200ppm-5000ppm LPG and propane 300ppm-5000ppm butane 5000ppm-20000ppm methane 300ppm-5000ppm H_2 100ppm-2000ppm Alcohol
α (3000/1000) isobutane	Concentration Slope rate	≤ 0.6	
Standard Detecting Condition	Temp: $20^\circ C \pm 2^\circ C$ $V_c: 5V \pm 0.1$ Humidity: $65\% \pm 5\%$ $V_h: 5V \pm 0.1$		
Preheat time	Over 24 hour		

Ilustración 51 tabla de sensibilidad característica del MQ2.

Con el dispositivo se puede obtener una resistencia de $6.95k\Omega$ de $3k\Omega - 30k\Omega$ recomendada por el datasheet para poder tener una escala de sensibilidad de 200ppm-5000ppm (LPG y propano), 300ppm-5000ppm (Butano), 5000ppm, 2000ppm (Metano), 300ppm-5000ppm (H_2). 100ppm-2000ppm (Alcohol).

$R_0 = 6.95K\Omega$ | LPG : 322 ppm

Ilustración 52 Parámetros arrojados de la calibración del MQ2.

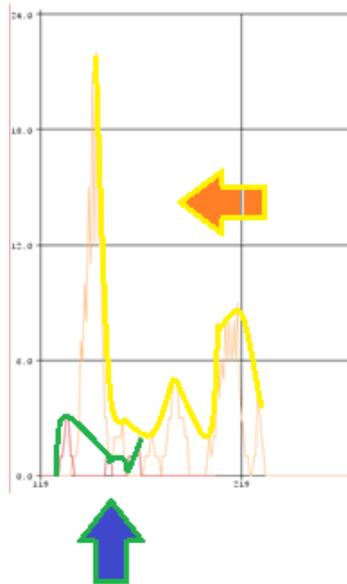


Ilustración 53 Análisis de gráfica de medición.

Podemos ver que el LPG está en el rango establecido por el datasheet.

Los datos de la muestra de las partículas emitidas por la persona con respecto al aire normal que es (cero) son diferentes a los datos iniciales lo cual demuestra valores que son recolectados por nuestro algoritmo creado en Python dándonos una gráfica con respuesta vista por un experto en el aria de la medicina.

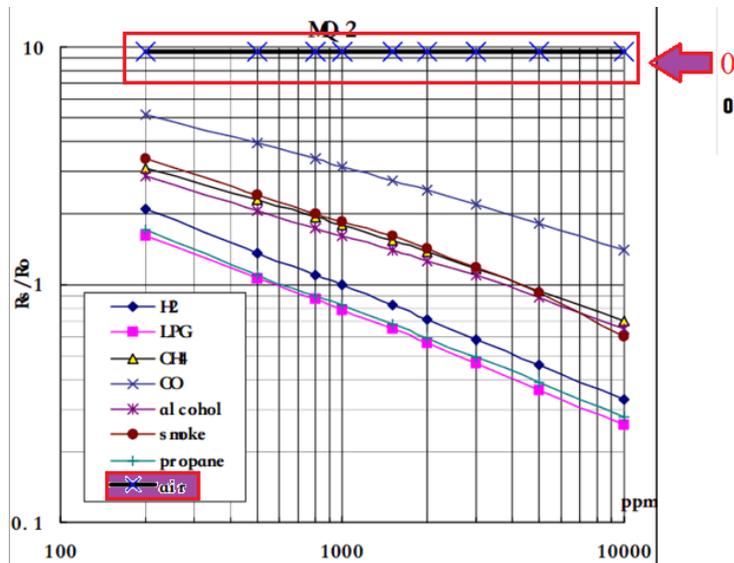


Ilustración 54 Gráfica característica del sensor MQ2.

MQ3

HANWEI ELETRONICS CO.,LTD MQ-3 <http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA MQ-3 GAS SENSOR

FEATURES

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

APPLICATION

They are suitable for alcohol checker, Breathalyser.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

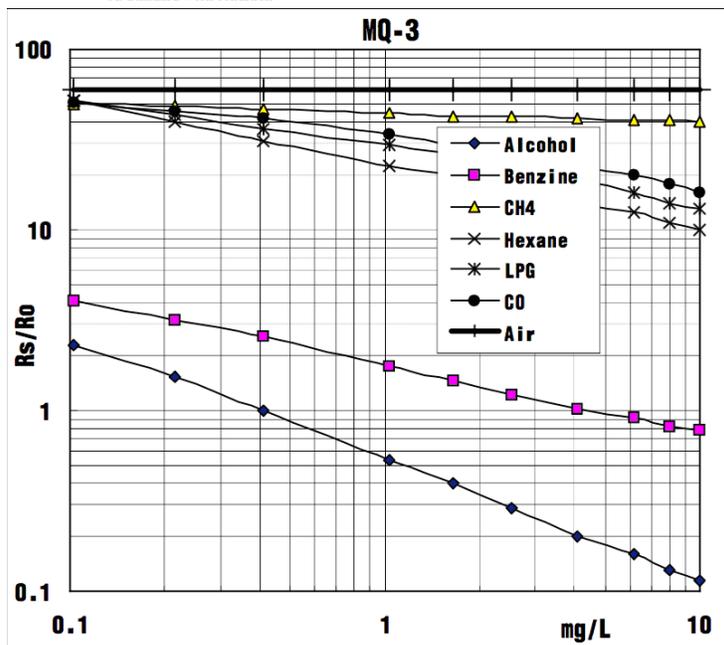


Ilustración 55 Información general y gráfica característica del sensor MQ3.

Para la calibración del sensor se utilizó los 3 puntos de la pendiente que se sacaron del datasheet.

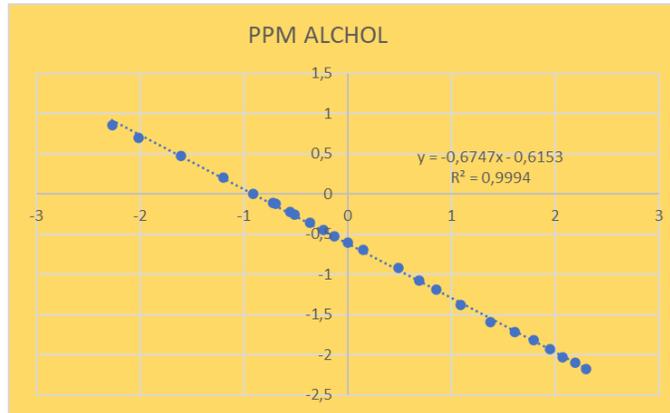


Ilustración 56 Gráfica de medición de alcohol con el sensor MQ3.



Ilustración 57 Prueba de alcohol con el sensor MQ3.

Activamos el sensor y vemos que comportamiento tiene hacia el alcohol.

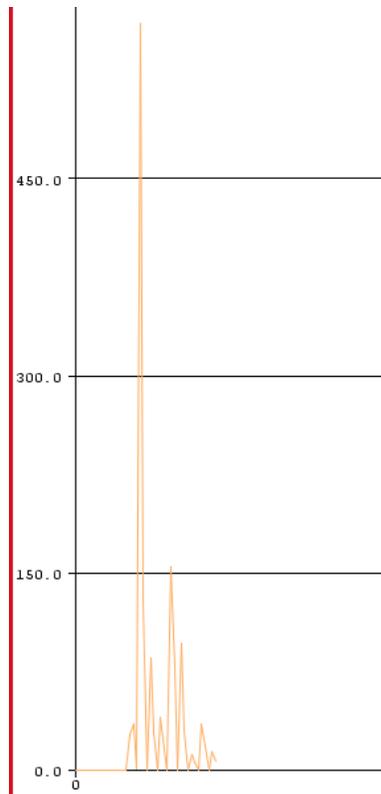


Ilustración 58 Gráfica registrada de la prueba de alcohol con el sensor MQ3.

Podemos ver que es el color naranja quién nos muestra comportamiento de los volátiles emanados del alcohol demostrando señales de entrada en el dispositivo.

De estos datos podemos concluir de nuestro datasheet.

C. Sensitivity characteristic

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

Ilustración 59 Tabla de sensibilidades del sensor MQ3.

La resistencia que obtuvimos en las pruebas fue de $R_o =$ de $3.21M\Omega$ de $1M\Omega - 8M\Omega$ lo cual nos da paso a tener concentraciones de 0.05mg/L-10mg/L

Calibrating...

$R_0 = 3.21M\Omega$

Ilustración 60 Parámetro arrojado de la calibración del sensor MQ3.

Podemos ver en el siguiente grafico marcado que la concentración de la muestra de prueba el aliento de la persona fue entre 0.04 mg/L y 6mg/L teniendo en cuenta que esta persona tomo una bebida alcohólica en esa ocasión la cual tenía un porcentaje de 5% - 5.5%.

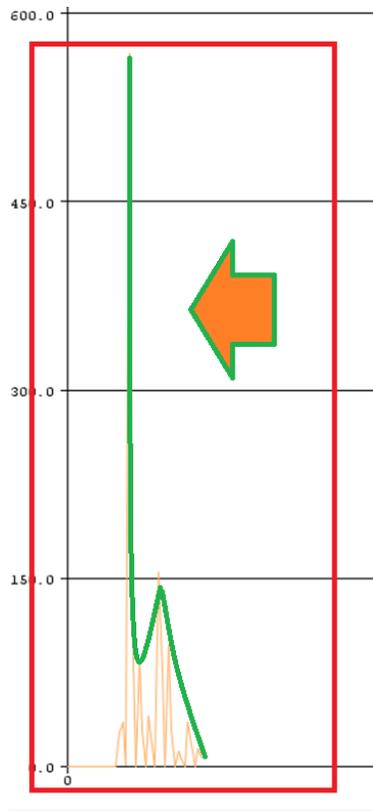


Ilustración 61 Análisis de la gráfica de medición con el sensor MQ3.

Con los datos teóricos y datos reales demostrando que el dispositivo está funcionando en óptimas condiciones y el código está haciendo la limpieza de toma de datos con respecto al aire.

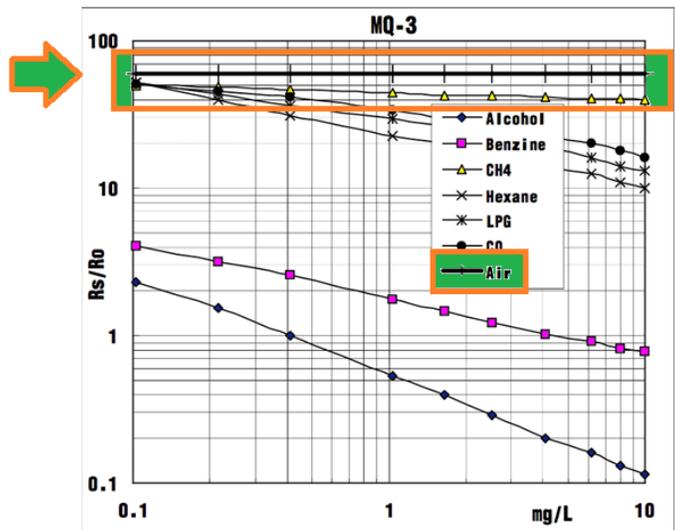


Ilustración 62 caracterización objetivo de medición.

MQ4

TECHNICAL DATA

MQ-4 GAS SENSOR

FEATURES

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

APPLICATION

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

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

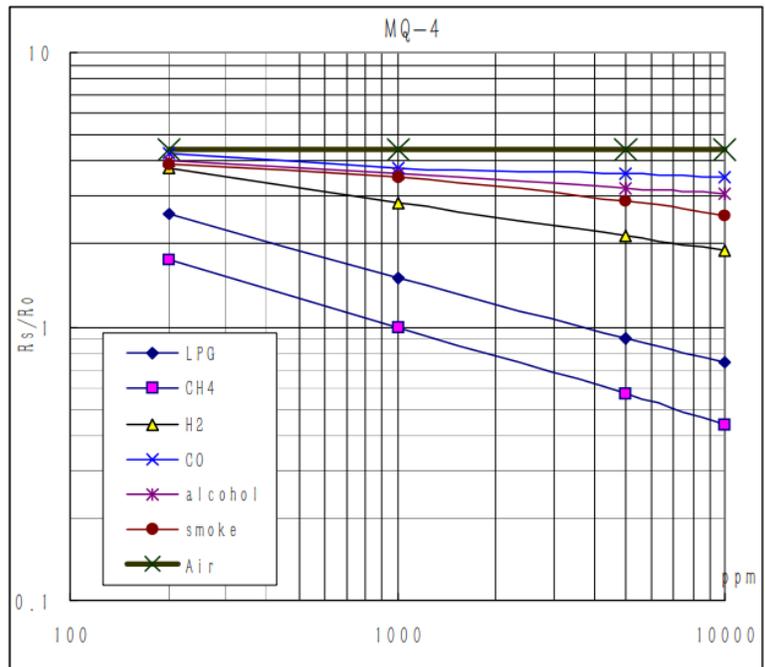


Ilustración 63 Información general y gráfica característica del sensor MQ4.

Para la calibración del sensor se utilizó los 3 puntos de la pendiente que se sacaron del datasheet.

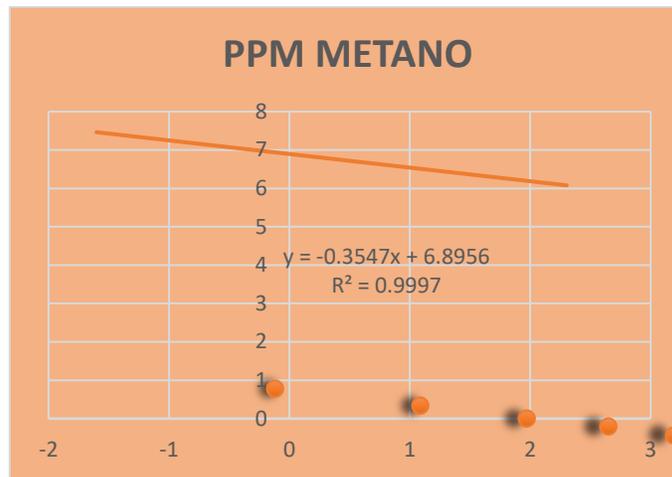


Ilustración 64 Gráfica normalizada de la medición con el MQ4

C. Sensitivity characteristic

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

Ilustración 65 Tabla de sensibilidad del sensor MQ4.

Para detectar CH₄ y gas natural obtenemos teóricamente la resistencia entre 10k Ω – 60k Ω tenemos una sensibilidad de 200ppm - 10000ppm con respecto al punto inicial que es el aire y al momento de realizar la prueba con el dispositivo nos arrojó una resistencia de 10.92k Ω con una sensibilidad de partículas por millón al momento de tomar la muestra de 317ppm.

$$R_o = 10.92k\Omega \quad | \quad \text{Metano: } 317 \text{ ppm}$$

Ilustración 66 Parametrización arrojada de la calibración del sensor MQ4.



Ilustración 67 Prueba de metano con el sensor MQ4.

Como podemos notar usamos metano para probar el dispositivo el cual nos arrojó este resultado el pico alto es el suministro alto de gas luego fue poco y nos dio correctamente a la intensidad.

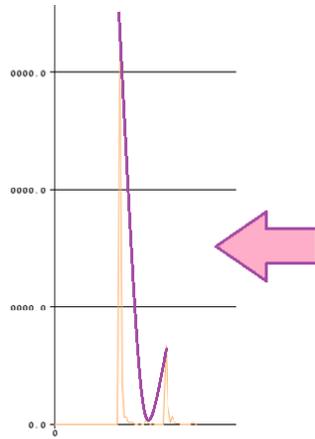


Ilustración 68 gráfica obtenida de la medición con el sensor MQ4.

Como podemos ver se acentúa la gráfica gracias al algoritmo que limpia los datos para llegar al comportamiento del aire como nos dice el datasheet.

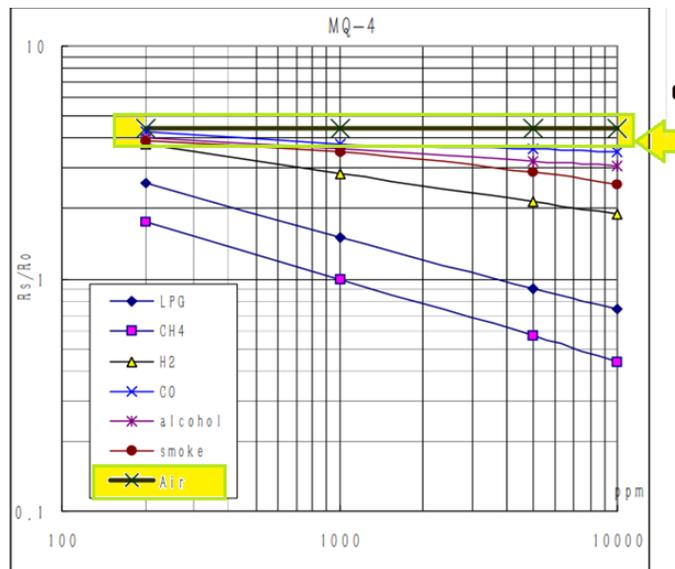


Ilustración 69 Gráfica de característica objetivo del sensor MQ4.

MQ7

TECHNICAL DATA

MQ-7 GAS SENSOR

FEATURES

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

APPLICATION

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

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

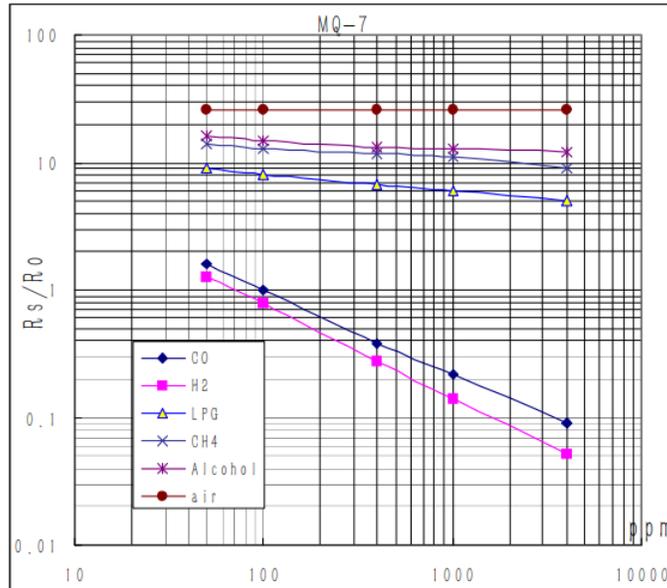


Ilustración 70 información general y gráfica característica del sensor MQ7.

Para la calibración del sensor se utilizó los 3 puntos de la pendiente que se sacaron del datasheet

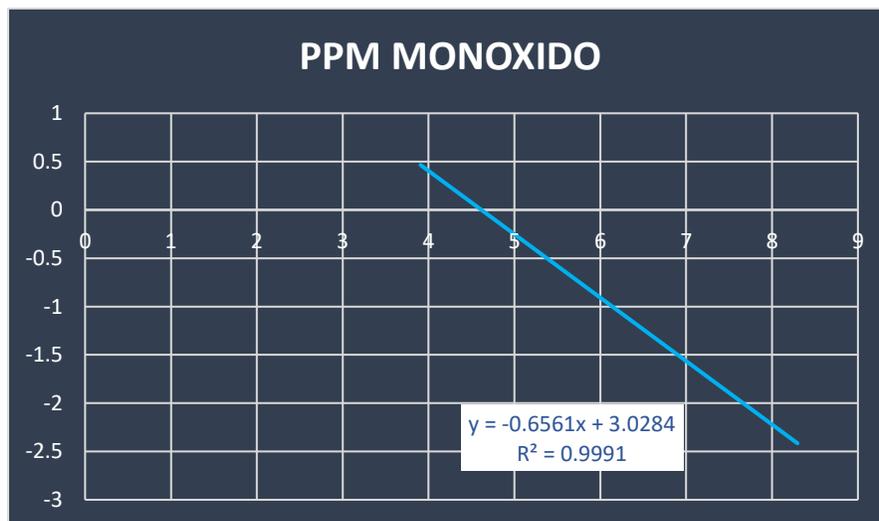


Ilustración 71 Gráfica normalizada de la calibración del sensor MQ7.

Como podemos ver en la siguiente gráfica el monóxido fue detectado perfectamente así cuando estuvo el dispositivo completamente activo.

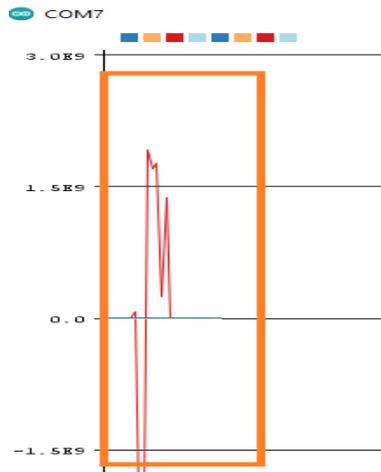


Ilustración 72 Gráfica obtenida de las mediciones con el sensor MQ7.

MQ8

TECHNICAL DATA

MQ-8 GAS SENSOR

FEATURES

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

APPLICATION

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

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

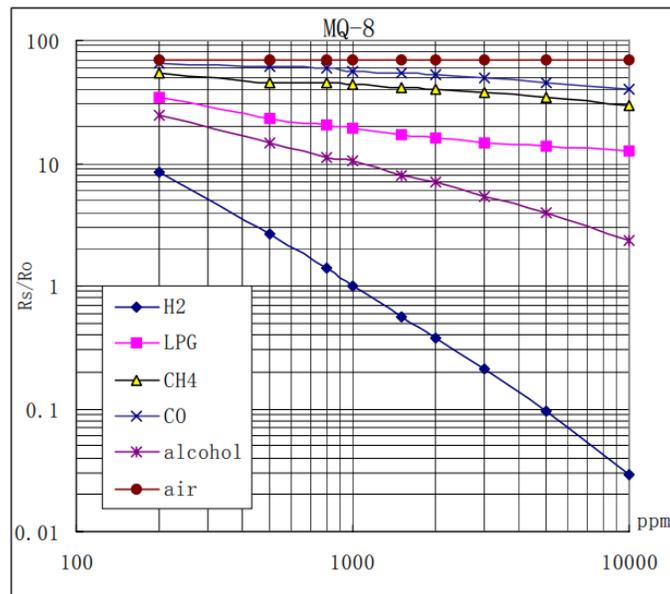


Ilustración 73 Información general y gráfica característica del sensor MQ8.

Para la calibración del sensor se utilizó los 3 puntos de la pendiente que se sacaron del datasheet

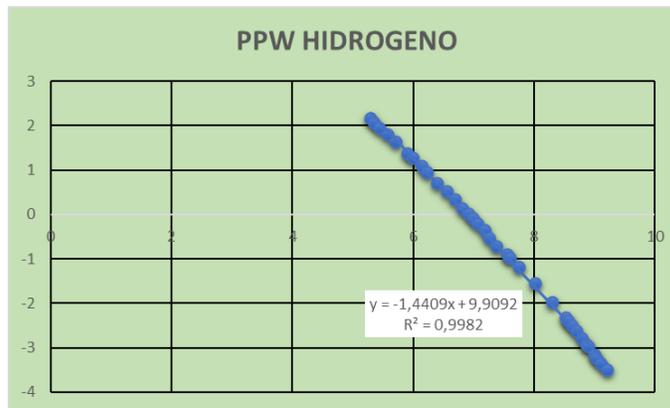


Ilustración 74 gráfica normalizada obtenida de la calibración del sensor MQ8.

Luego usamos la tabla de sensibilidad de el sensor encargado del estudio de este gas

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R_s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm H ₂)	Detecting concentration scope: 100-10000ppm Hydrogen (H ₂)
α (1000ppm/ 500ppmH ₂)	Concentration slope rate	≤ 0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20°C \pm 2°C Humidity: 65% \pm 5%	Vc:5V \pm 0.1 Vh: 5V \pm 0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

Ilustración 75 tabla de sensibilidad del sensor MQ8.

La concentración de hidrógeno va de 100 ppm - 10000ppm para una resistencia de 10K Ω – 60k Ω en lo cual esto concuerda con los resultados obtenidos por las pruebas reales que fue una resistencia de 6.64k Ω con una lectura de partículas por millón de 410ppm.

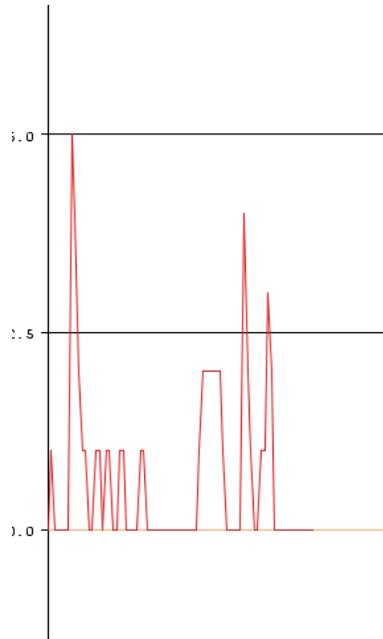


Ilustración 76 Gráfica de mediciones con el sensor MQ7.

$R_0 = 6.64K\Omega$ | HIDROGENO : 410 ppm

Ilustración 77 Parámetros arrojados de la calibración del sensor MQ8.

Para poder obtener este resultado se utilizó biomasa de la madera que es una de pocas de producir hidrógeno y se probó en los sensores que nos dieron resultados muy buenos los cuales nos demuestra que la calibración de los sensores es exitosa.

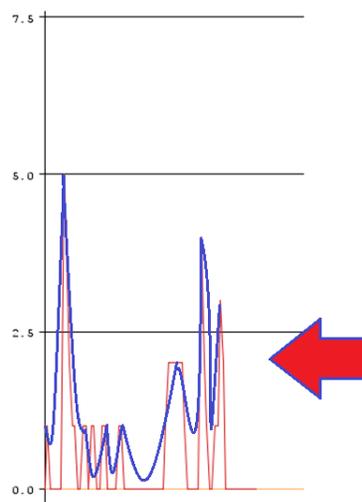


Ilustración 78 Análisis de la gráfica obtenida de las mediciones del sensor MQ8.

Podemos ver como el programa se estabiliza para recolectar datos tal cual como lo muestra nuestra tabla del datasheet.

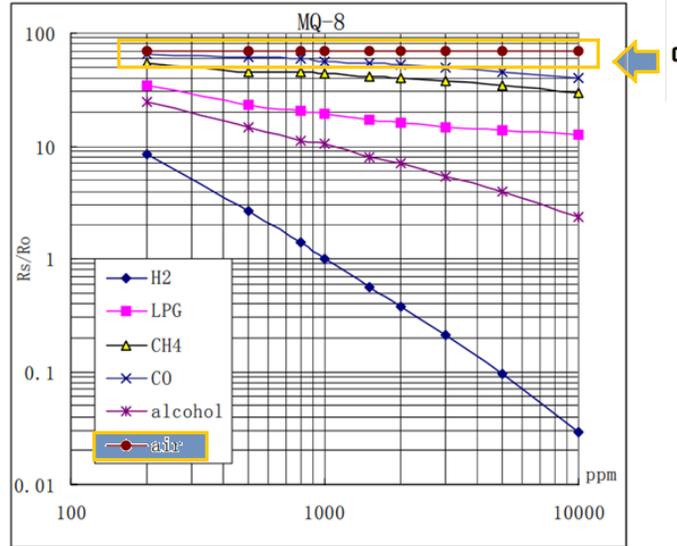


Ilustración 79 Gráfica característica objetivo del sensor MQ8.

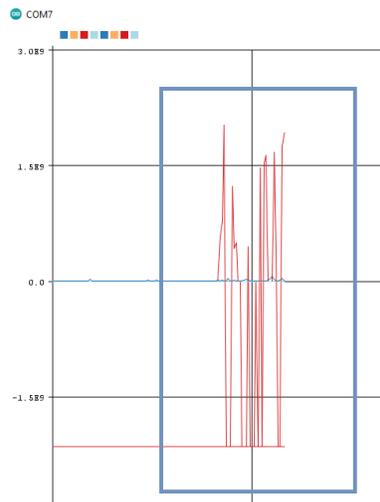


Ilustración 80 Gráfica de muestras obtenidas del sensor MQ8.

MQ135

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

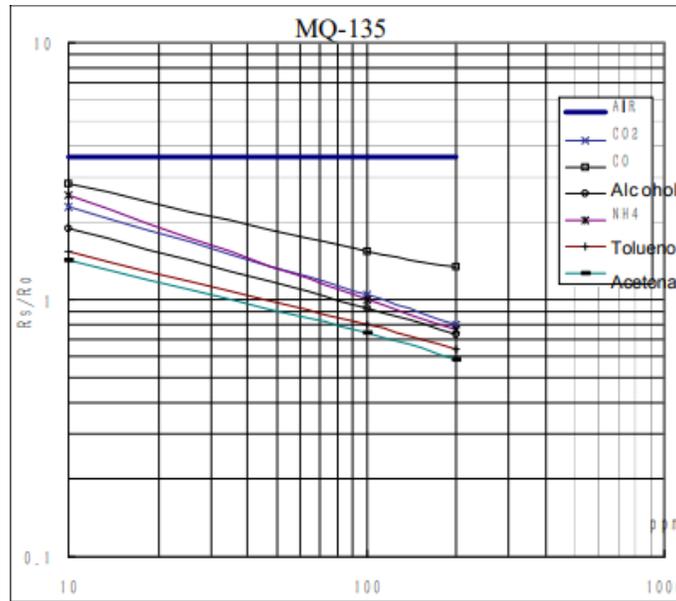


Ilustración 81 Información general y gráfica característica del sensor MQ135.

Para la calibración del sensor se utilizó los 3 puntos de la pendiente que se sacaron del DataSheet.

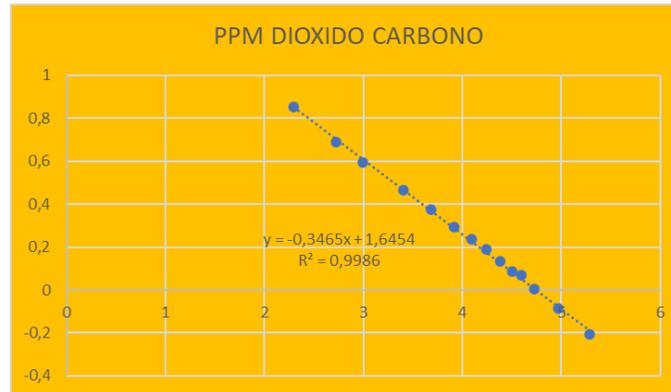


Ilustración 82 Gráfica normalizada de la calibración del sensor MQ135.

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Ramark 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°C \pm 2°C Humidity: 65% \pm 5%	Vc: 5V \pm 0.1 Vh: 5V \pm 0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

Ilustración 83 Tabla de sensibilidad del sensor MQ135.

Con el datasheet se pudo obtener información como funciona las partículas por millón según la resistencia como: de 30k Ω - 200k Ω estaría comportándose el NH₃ con rangos de 10ppm – 300ppm, 10ppm – 1000ppm y 10ppm - 300ppm

El dióxido de carbono fue percibido correctamente como lo podemos ver en la siguiente prueba, para ello se usaron animales y aliento humano y nos dio dichos resultados



Ilustración 84 Gráfica obtenida de las mediciones con el sensor MQ135.

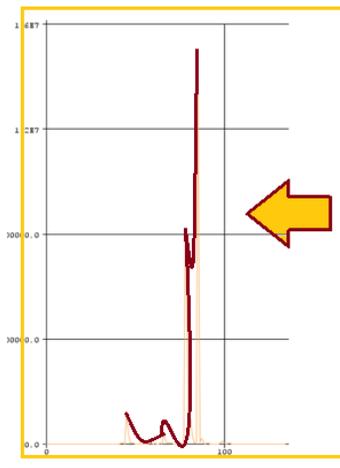


Ilustración 85 Análisis de la gráfica obtenida de las mediciones obtenidas del sensor MQ135.

Podemos concluir que al usar valores reales la resistencia obtenida es de 31.96k Ω y con un análisis de partícula por millón de 137ppm, esto nos dice que los

parámetros dados con el datasheet son ciertos, también podemos ver el comportamiento de la gráfica en cero lo que significa que es aire.

$$R_0 = 31.96 K\Omega \quad \text{DIOXIDO: } 137 \text{ ppm}$$

Ilustración 86 Parametrización obtenida de la calibración del sensor MQ135.

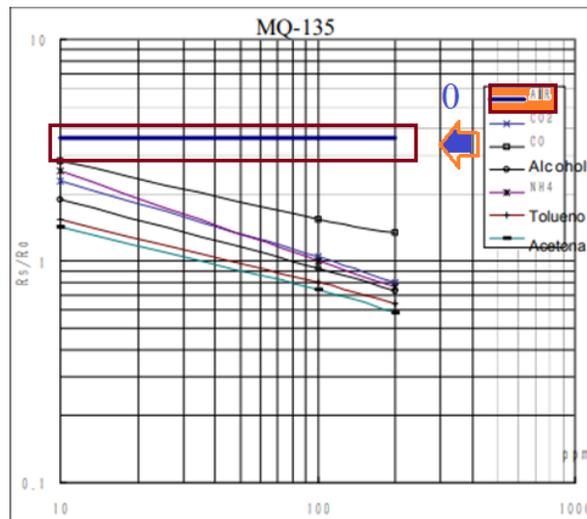


Ilustración 87 Gráfica característica obtenida del sensor MQ135.

Para validar el comportamiento del dispositivo frente a los diferentes tipos de pacientes se analizó con tres diferentes tipos de sujetos, los sujetos sanos los cuales servirán de control para analizar el comportamiento del dispositivo frente a los otros dos tipos de sujetos los que son los fumadores y alcohólicos.

Dado el contexto de la pandemia por el COVID-19, se tomaron una serie de medidas de seguridad para no generar focos de infección y asegurar la salud de los voluntarios, las medidas de bio-seguridad tomadas fue la de solicitar las dosis completas de vacunación contra del COVID-19, por la pequeña cantidad de voluntarios fue posible fabricar diferentes boquillas para que ellos pudieran utilizar diferentes boquillas independientes.

Para la selección de las personas sanas, la solicitud fue que debían estar vacunadas, no debieron haber fumado ni bebido dentro de las ultimas 24 horas y no tener ninguna enfermedad estomacal conocida. El resultado del procedimiento de medición fue el siguiente.

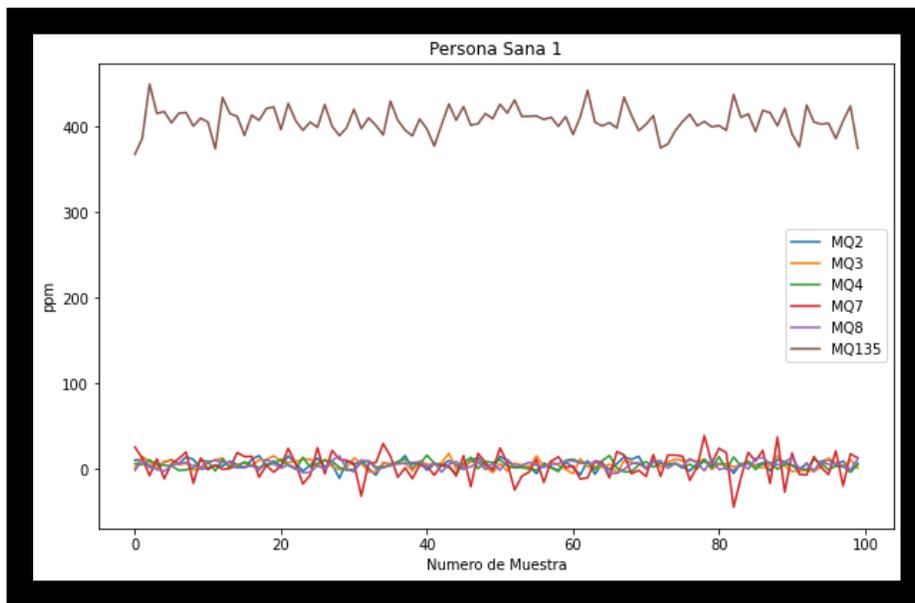


Ilustración 88 Gráfica de muestras de persona sana 1.

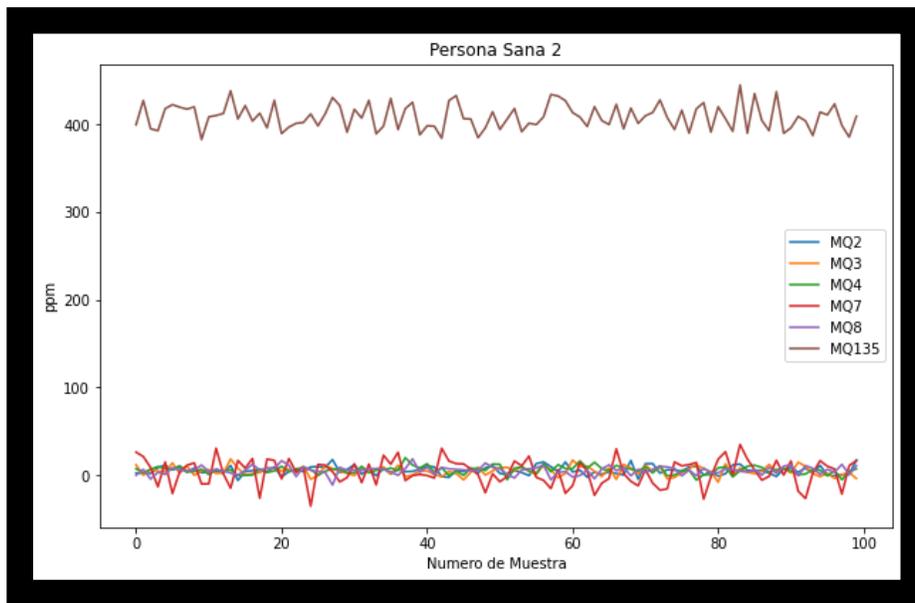


Ilustración 89 Gráfica de muestras de persona sana 2.

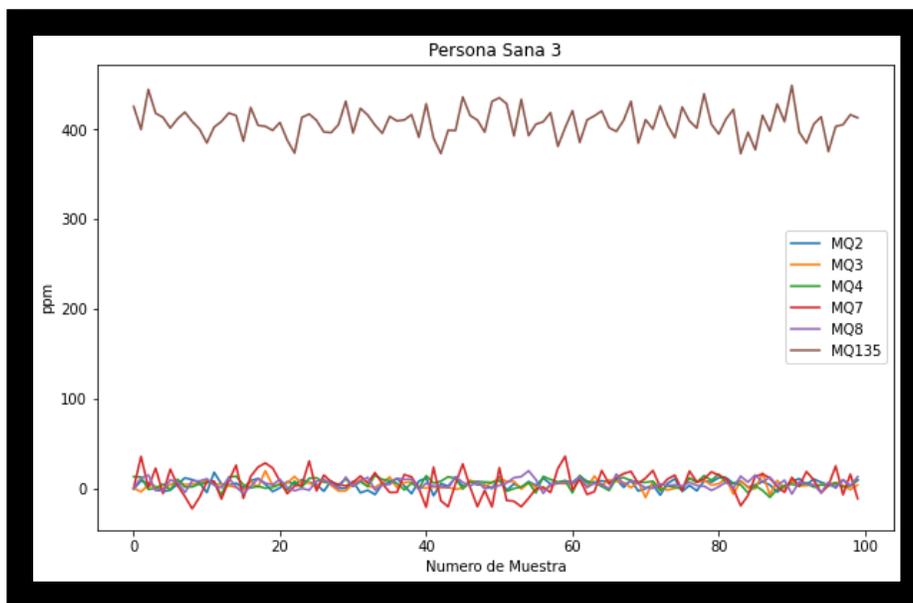


Ilustración 90 Gráfica de muestras de persona sana 3.

En las gráfica de las personas se puede notar un comportamiento constante en el sensor MQ135 el cual registra como gas principal el CO₂, el cual cuenta con un promedio de 407ppm y una desviación estándar de 15 unidades, los otros sensores registrarón un promedio de 5ppm con un aproximado de unidades de desviación estándar a excepción del sensor MQ7 que se calculó una desviación de 13 unidades de desviación estándar.

Para las personas alcohólicas se seleccionaron a individuos que hubieran ingerido alcohol dentro de las ultimas 8 horas y no se consideró el hecho de que el individuo tenga alguna enfermedad estomacal.

Las muestras resultantes son las siguientes:

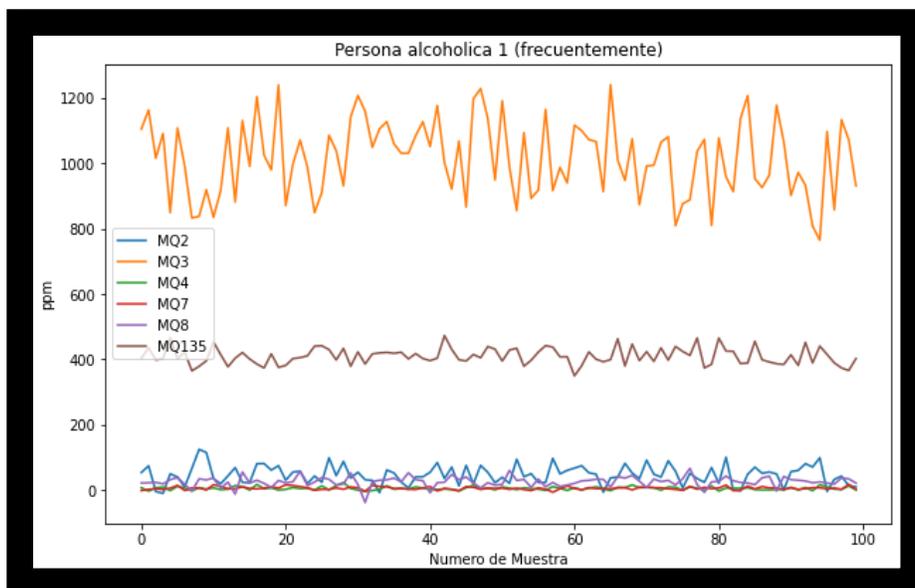


Ilustración 91 Gráfica de muestras de personas alcohólica 1.

Voluntario masculino de 24 años, habiendo consumido bebidas alcohólicas aproximadamente 2 hora antes de la realización de la prueba, cuyo registro mayor es del sensor MQ3 el cual registra partículas de alcohol, se registró un promedio de 1959ppm y una desviación estándar de aproximadamente 200 unidades, para el sensor MQ8 se registró un promedio de 25ppm con una desviación estándar de 15 unidades aproximadamente y los otros sensores registrarán un promedio de 5 ppm y una desviación estándar de 7 unidades aproximadamente.

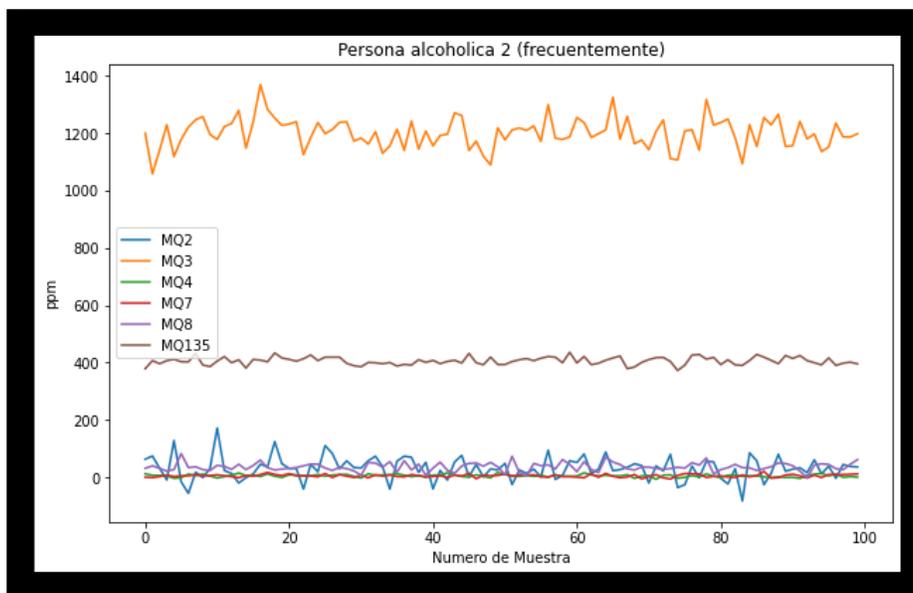


Ilustración 92 Gráfica de muestras de persona alcohólica 2.

Para el voluntario femenino de 22 años, habiendo consumido bebidas alcohólicas aproximadamente 2 hora antes de la realización de la prueba se calculó un promedio de 1200 ppm con una desviación estándar de 55 unidades, el registro del sensor MQ135 se mantiene con un promedio aproximado de 400ppm y una desviación estándar de solo 15 unidades, sin embargo, el registro del sensor MQ8 fue ligeramente mayor que el primer individuo, registrando un promedio de 35ppm con una desviación estándar de 15 unidades, el resto de sensores registrarón un promedio de 5 ppm con una desviación estándar de 8 unidades.

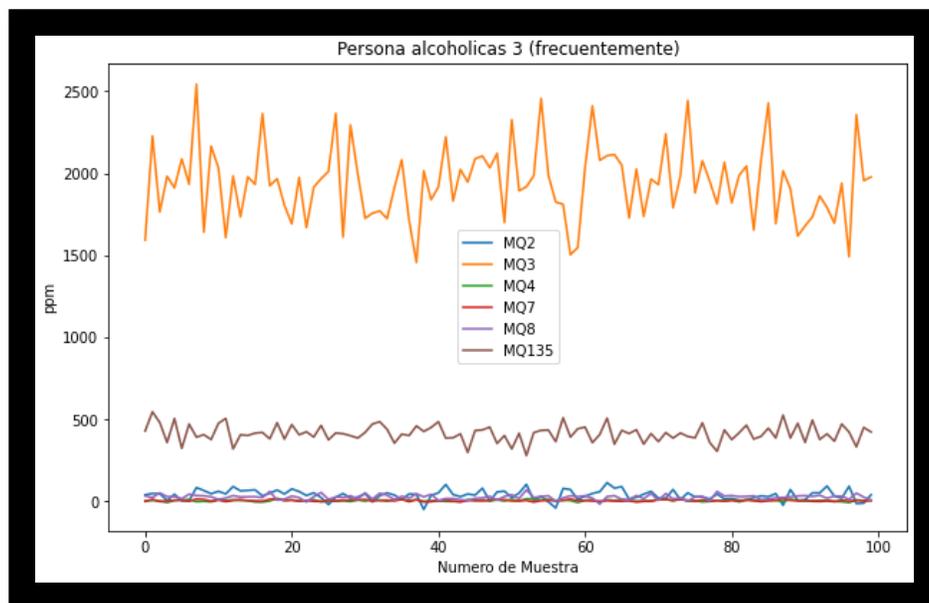


Ilustración 93 Gráfica de muestras de persona alcohólica 3.

Voluntario femenino de 25 años, habiendo consumido bebidas alcohólicas aproximadamente 2 hora antes de la realización de la prueba, para el sensor MQ3 tiene una concentración promedio de 1703ppm con una desviación estándar de 200 unidades, lo cual hace al presente voluntario con el mayor promedio y desviación estándar debido al tiempo y al tipo de alcohol consumido antes de la prueba, el resto de sensores mantienen un comportamiento normal.

Para las personas fumadoras, se seleccionaron aquellos que hubieran fumado cigarrillo dentro de las ultimas 8 horas y no se consideró el hecho de que el individuo tenga alguna enfermedad estomacal.

Las muestras resultantes son las siguientes:

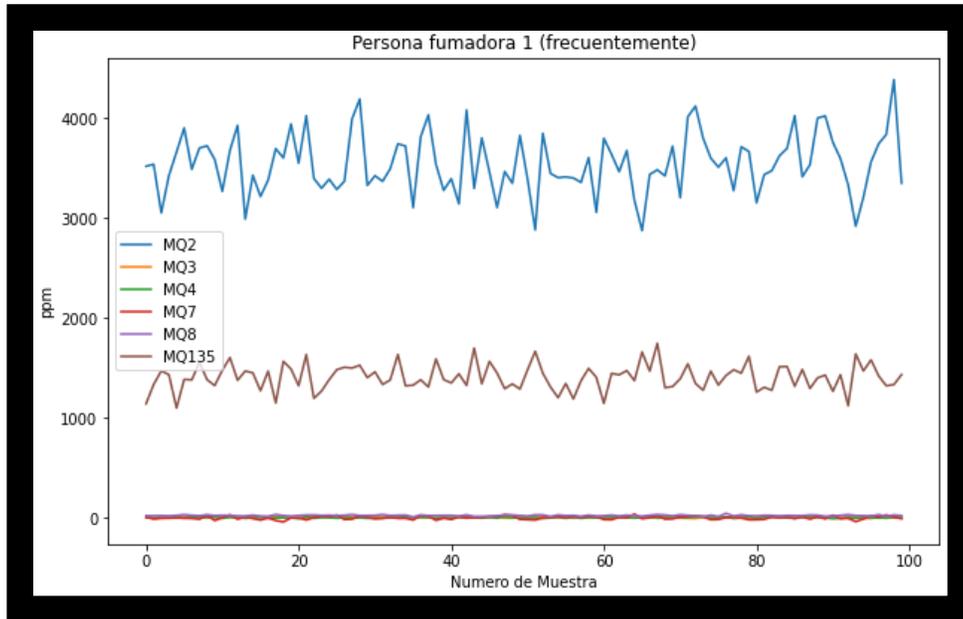


Ilustración 94 Gráfica de muestras de persona fumadora 1.

Voluntario masculino de 45 años, habiendo consumido cigarrillo aproximadamente 45 minutos antes de la realización de la prueba, en el cual se presencia un notable incremento en las lecturas del sensor MQ2 y MQ135 las cuales tienen un promedio de 3500ppm y 1407ppm respectivamente, esto se debe a partículas que se encuentran alojadas en el aliento luego de consumir cigarrillos, también notamos que los otros sensores no tuvieron registros altos, tuvieron un promedio de 10ppm.

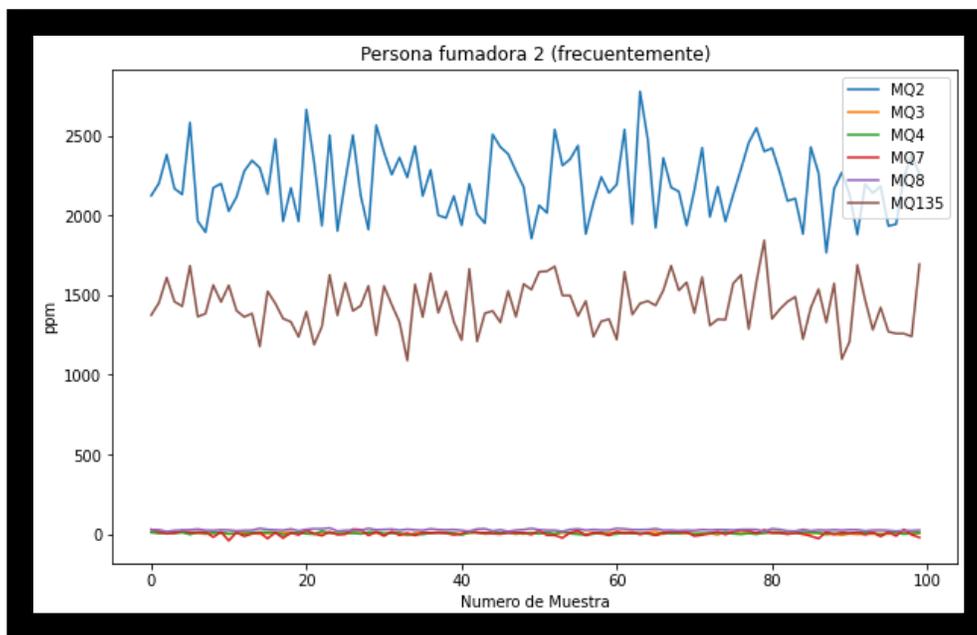


Ilustración 95 Gráfica de muestras de persona fumadora 2.

Para el voluntario masculino de 23 años, habiendo consumido cigarrillo aproximadamente 1 hora antes de la realización de la prueba se evidencia un registro de concentración promedio 2184ppm para el sensor MQ2 con una desviación estándar de 220 unidades y para el sensor MQ135 se registró una concentración promedio de 1423ppm con una desviación estándar de 155 unidades aproximadamente, el resto de sensores mantuvieron un comportamiento constante de 13ppm con una desviación estándar de 4 unidades aproximadamente.

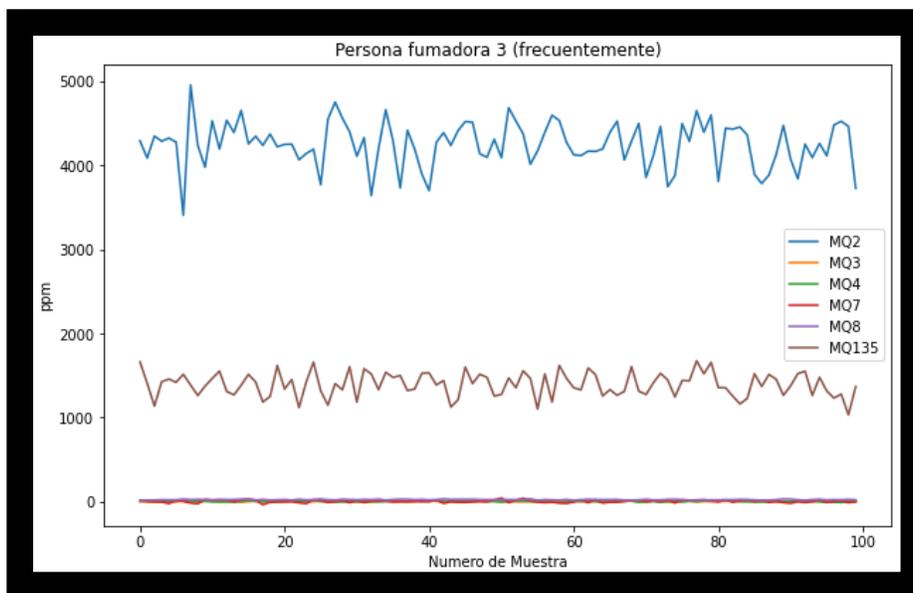


Ilustración 96 Gráfica de muestras de persona fumadora 3.

Para el voluntario masculino de 24 años, habiendo consumido cigarrillo aproximadamente 30 hora antes de la realización de la prueba se evidencia un registro de concentración promedio 4277ppm para el sensor MQ2 con una desviación estándar de 245 unidades y para el sensor MQ135 se registró una concentración promedio de 1407ppm con una desviación estándar de 150 unidades aproximadamente, siendo el voluntario con la mayor cantidad de concentración registrada por el sensor MQ2, de lo cual se infiere que la cantidad de concentración registrada por los sensores, tiene relación directa con el tiempo de haber consumido el cigarrillo. el resto de sensores mantuvieron una comportamiento constante de 13ppm con una desviación estandar de 4 unidades aproximadamente.

Por el comportamiento de las muestras obtenidas y teniendo en cuenta el tiempo entre la recolección de la muestra y el momento en el que el voluntario realizó el ultimo consumo de cigarrillo, se puede apreciar que la cantidad de Monóxido de carbono disminuye entre más tiempo pasa desde el ultimo consumo de cigarrillo, por ende, es inversamente proporcional la cantidad de ppm de Monóxido de carbono con el tiempo del último consumo.

6.6. MANUAL DE USUARIO

Al documento se adjunta un manual de usuario con toda la información pertinente y necesaria para el uso y control del dispositivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Gracias a las múltiples pruebas realizadas con el dispositivo multisensorial y su integración con una interfaz gráfica local y remota, fue posible la construcción de un dispositivo de detección de compuestos volátiles en el aliento de las personas, este cuenta con un funcionamiento estándar, de modo que, realizando la gestión correspondiente se podría implementar en el sector de la salud para entregar un resumen y análisis estadístico simple a un usuario médico, de los gases procedentes de el aliento de los pacientes en un archivo pdf; este proyecto contó con tecnologías bastante asequibles en el mercado por ende es sencilla su creación, elaboración, implementación y escalabilidad.

Los sensores MQ usados en el proyecto necesitan un tiempo para aumentar su temperatura, lo cual hace posible detectar los múltiples compuestos volátiles que se encuentran en el aliento de los pacientes de una forma eficiente, estos diferentes gases cuando entran en contacto con el sensor, se activa dependiendo de la composición de los diferentes compuestos y estableciendo un parámetro fijo en la matriz se podrán calcular estadísticas básicas de estos mismos con cierto grado de sensibilidad de los cuales cabe resaltar que se probaron con condiciones atmosféricas en la ciudad de Barranquilla y Montería-Colombia, por ende los valores de volatilización de los diferentes compuestos puede cambiar con las diferentes alturas y temperaturas del ambiente en donde se encuentren realizando las mediciones.

Como método de validación para el funcionamiento del dispositivo se había planeado una validación directa del dispositivo al probarlo en diferentes pacientes con varias enfermedades y observar la diferencia de compuestos volátiles presentes en el aliento de dichos pacientes, pero durante el transcurso del desarrollo del presente proyecto ocurrió la pandemia del COVID-19 haciendo que los entes gubernamentales declararían cuarentena general, esto llevo a replantear el método de validación del dispositivo, se optó por una validación indirecta del dispositivo,

esta consistió en buscar una base de datos que hiciera mediciones en los alientos de diferentes personas de las partículas volátiles que el dispositivo mide o asemeja, haciendo la verificación de la sensibilidad y de las partículas por millón que dicho conjunto de datos tenía y haciendo la comparación con la sensibilidad y partículas por millón que el dispositivo capta para así tener un aproximado del comportamiento del dispositivo en un ámbito real.

Como adición a la validación del dispositivo, se usaron técnicas de machine Learning para explorar el conjunto de datos, brindando mayor entendimiento sobre la data y extrapolando el comportamiento del dispositivo frente a datos ya adquiridos.

El dispositivo desarrollado fue construido con materiales de mercado y puede ser usado en IPS para consultas generales en las cuales se cuente con un computador, el dispositivo puede ser usado para mediciones cada 8 minutos sin contabilizar el tiempo de esterilización de la boquilla del dispositivo.

Para mejorar el dispositivo se recomienda la optimización del espacio dentro del ensamblado mediante la elaboración de una váquela sobre la cual se tenga las conexiones a los sensores, las baterías y los integrados; así mismo se recomienda la incorporación de sensores con mayor exactitud y sensibilidad al momento de realizar la medición y así mismo se recomienda la instalación de baterías con mayor capacidad para que el uso del dispositivo de forma independiente sea mayor.

El dispositivo cumple la función de recolector de datos, los cuales servirán para un futuro estudio para la predicción de enfermedades dependiendo de la concentración de partículas volátiles en el aliento, por eso se recomienda el acompañamiento de un personal médico adecuado y así mismo el acompañamiento de un personal de ciencia de datos para la escalabilidad del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

1. [1] Who.int... OMS | Datos Y Cifras Sobre El Cáncer. [Online] Available at: <<https://www.who.int/cancer/about/facts/es/>>
2. [2] Campbell, D. Almost Half of Cancer Patients Diagnosed Too Late. [Online] the Guardian. Available at: <<https://www.theguardian.com/society/2014/sep/22/cancer-late-diagnosis-half-patients>>.
3. [3] Colombia, M., 33 Mil Personas Al Año Mueren De Cáncer En Colombia. [Online] Minsalud.gov.co. Available at: <<https://www.minsalud.gov.co/Paginas/33-mil-personas-ala-C3%B1o-mueren-de-C3%A1ncer-en-Colombia.aspx>>.
4. [4] Dialnet.unirioja.es... [Online] Available at: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4723843.pdf>>
5. [5] Who.int. 12 Septiembre 2018. Cáncer. [Online] Available at: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer>.
6. [6] B. Salud, "Diagnóstico precoz de las enfermedades", *Sanitas*, [Online]. Available: <https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/prevencion-salud/san041825wr.html#:~:text=El%20diagn%C3%B3stico%20precoz%20o%20prevenci%C3%B3n,cuando%20a%C3%BAn%20no%20provoca%20s%C3%ADntomas>.
7. [7] "La importancia del diagnóstico precoz del cáncer - Virgen del Alcázar", *Virgen del Alcázar*, [Online]. Available: <https://www.virgendelalcazar.com/la-importancia-del-diagnostico-precoz-del-cancer/>.
8. [8] "Lo que verdaderamente nos dicen las estadísticas de los exámenes de detección del cáncer", *cancer.gov*. [Online]. Available: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/deteccion/investigacion/que-dicen-estadisticas-de-deteccion>.
9. [9] J. Fuentes-Rojas, 05- Sep.- 2018. "Importancia de la prevención y el diagnóstico precoz en el cáncer mamario", *Scielo.sld.cu*. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552019000100004.].
10. [10] D. Bustos, 29- Oct- 2018. "Importancia del Diagnóstico Precoz - Salud Savia", *Salud Savia*, [Online]. Available: <https://www.saludsavia.com/contenidos-salud/articulos-especializados/importancia-del-diagnostico-precoz>.
11. [11] "Tipos de análisis que se realizan en un laboratorio clínico y biomédico | CEAC", *Ceac.es*, 2017. [Online]. Available: <https://www.ceac.es/blog/tipos-de-analisis-que-se-realizan-en-un-laboratorio-clinico-y-biomedico>.
12. [12] "Artículos Médicos | Clínica Hospital San Fernando", *Clínica Hospital San Fernando*. [Online]. Available: <https://www.hospitalsanfernando.com/articulos-medicos/examenes-de-laboratorio-mas-frecuentes-realizados-en-los-pacientes>.
13. [13] https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872007000400018
14. [14] Martínez de la Cotería and Emiliano Diez, "MediSur Revista Electronica", *Redalyc.org*, 2010. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/1800/180020098022.pdf>. [Accessed: 26- Oct- 2020].
15. [15] T. Compilación, "Consecuencias de un diagnóstico tardío - Todo Diagnóstico", *Todo Diagnóstico*, 2018. [Online]. Available: <https://www.tododiagnostico.com/diagnostico->

tradicional/consecuencias-de-un-diagnostico-tardio/#Consecuencias_de_un_diagnostico_tardio_de_diabetes.

16. [16] Marta Beatriz Gaviria; Hana Marisol Henao; Teresita Martínez; Elisa Bernal. "Papel del personal de salud en el diagnóstico tardío de la tuberculosis pulmonar en adultos de Medellín, Colombia" 2009.<https://www.scielo.org/article/rpsp/2010.v27n2/83-92/>
17. [17] R. Darío Pimentel, V. Fontana Jiménez and J. M. Custodio Guerrero, "PROBLEMAS ACTUALES EN EL DIAGNOSTICO DE LA TUBERCULOSIS (T.B) EN NIÑOS DOMINICANOS (1)", Binasss.sa.cr. [Online]. Available: <https://www.binasss.sa.cr/revistas/rccm/v8n4/art12.pdf>.
18. [18] O. Machado., B. Fondo., I. Madrazo., A. González. And T. García., "Comportamiento clínico y epidemiológico en el diagnóstico tardío de lepra", *Revgmespirituana.sld.cu*. [Online]. Available: <http://www.revgmespirituana.sld.cu/index.php/gme/article/view/496>.
19. [19] "Non-invasive prediction of lung cancer histological types through exhaled breath analysis by UV-irradiated electronic nose and GC/QTOF/MS", *Sensors and Actuators B: Chemical*, no. 311, 2020.
20. [20] " Exhaled breath análisis for
21. gastric cancer diagnosis in Colombian patients", *Centro Nacional de Información Biotecnológica Centro de Apoyo*, no. 25331, 2020.
22. [21] "Evaluation of Volatile Organic Compounds Obtained from Breath and Feces to Detect Mycobacterium tuberculosis Complex in Wild Boar (*Sus scrofa*) in Doñana National Park, Spain", *Patógenos*, no. 1033909050346, 2020.
23. [22] M. Sánchez-Ávila, K. Chávez Caraza, A. González Gil, J. Cantú Pompa, E. Moreno Medrano and L. Morales-Garza, "Correlación entre los síntomas digestivos y los resultados de una prueba de hidrógeno en aliento en el diagnóstico de intolerancia a carbohidratos", *Scielo.org.pe*, 2016. [Online]. Available: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1022-51292016000300006&script=sci_arttext&tIng=en.
24. [23] M. Peralta Espejo, A. Bussalleu Rivera, V. Espinoza Ildefonso, C. Meza Borja and J. Rojas-Vilca, "Validación de una prueba de amonio en aliento para el diagnóstico de la infección por *Helicobacter pylori* en pacientes del Hospital Cayetano Heredia", *Scielo.org.pe*, 2018. [Online]. Available: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1022-51292018000200005.
25. [24] L. Paz Valiñtilde; as and R. Bugaríacut; e; n Gonzáacut; e; lez, "Test del H2 en el aliento y otras alternativas diagnósticas para la intolerancia a la lactosa", *Runa.sergas.es*, 2017. [Online]. Available: <https://runa.sergas.es/xmlui/handle/20.500.11940/10501>.
26. [25] van Keulen, Jansen, Schrauwen and Kolkman, "Log in", *Ezproxy.uac.edu.co*, 2020. [Online]. Available: <https://ezproxy.uac.edu.co:2102/record/display.uri?eid=2-s2.0-85076792990&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=non-invasive+clinical+diagnosis+VOC&st2=&sid=666ca546e48fb792caca655d1d4b8f75&sot=b&sdt=b&sl=50&s=TITLE-ABS-KEY%28non-invasive+clinical+diagnosis+VOC%29&relpos=7&citeCnt=4&searchTerm>. [Accessed: 30-Sep- 2020].
27. [26] "Análisis de la respiración utilizando tecnología de movilidad iónica y enose para diagnosticar la enfermedad inflamatoria intestinal: un estudio piloto", *Ezproxy.uac.edu.co*, 2019. [Online]. Available: <https://ezproxy.uac.edu.co:2102/record/display.uri?eid=2-s2.0-85065314682&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=non->

- invasive+clinical+diagnosis+VOC&st2=&sid=666ca546e48fb792caca655d1d4b8f75&sot=b
&sdt=b&sl=50&s=TITLE-ABS-KEY%28non-
invasive+clinical+diagnosis+VOC%29&relpos=16&citeCnt=9&searchTerm. [Accessed: 30-
Sep- 2020].
28. [27] S. Sethi, R. Nanda and T. Chakraborty, "Clinical Application of Volatile Organic Compound Analysis for Detecting Infectious Diseases", *American society of microbiology*, 2020. [Online]. Available: <https://cmr.asm.org/content/26/3/462>. [Accessed: 30- Sep- 2020].
 29. [28] [2]"Scopus", *The scent of disease: Volatile organic compounds of the human body related to disease and disorder*, 2020. [Online]. Available: <https://ezproxy.uac.edu.co:2102/record/display.uri?eid=2-s2.0-80052252876&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=non-invasive+clinical+diagnosis+VOC&st2=&sid=666ca546e48fb792caca655d1d4b8f75&sot=b&sdt=b&sl=50&s=TITLE-ABS-KEY%28non-invasive+clinical+diagnosis+VOC%29&recordRank>. [Accessed: 30- Sep- 2020].
 30. [29] "The diagnostic potential of breath analysis", *Scopus*, 2020. [Online]. Available: <https://ezproxy.uac.edu.co:2102/record/display.uri?eid=2-s2.0-0020693943&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=non-invasive+clinical+diagnosis+VOC&st2=&sid=666ca546e48fb792caca655d1d4b8f75&sot=b&sdt=b&sl=50&s=TITLE-ABS-KEY%28non-invasive+clinical+diagnosis+VOC%29&recordRank>. [Accessed: 30- Sep- 2020].
 31. [30] Buljubasic and Buchbauer, "The scent of human diseases: A review on specific volatile organic compounds as diagnostic biomarkers", *Scopus*, 2020. [Online]. Available: <https://ezproxy.uac.edu.co:2102/record/display.uri?eid=2-s2.0-84919665446&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=non-invasive+clinical+diagnosis+VOC&st2=&sid=666ca546e48fb792caca655d1d4b8f75&sot=b&sdt=b&sl=50&s=TITLE-ABS-KEY%28non-invasive+clinical+diagnosis+VOC%29&recordRank>. [Accessed: 30- Sep- 2020].
 32. [31] "Arduino - Home", *Arduino.cc*, 2020. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Accessed: 01- Oct- 2020].
 33. [32] "¿Que es Arduino? | Arduino.cl", *Arduino.cl*, 2020. [Online]. Available: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Accessed: 02- Oct- 2020].
 34. [33] "Raspberrypi", *Raspberrypi.org*, 2020. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [Accessed: 01- Oct- 2020].
 35. [34] "Welcome to Python.org", *Python.org*, 2020. [Online]. Available: <https://www.python.org/>. [Accessed: 02- Oct- 2020].
 36. [35] "Sensores de gas serie MQ | Tienda y Tutoriales Arduino", *Prometec.net*, 2020. [Online]. Available: <https://www.prometec.net/sensores-de-gas-serie-mq/>. [Accessed: 01- Oct- 2020].
 37. [36]L. Llamas, "Detector de gases con Arduino y la familia de sensores MQ", *Luis Llamas, Ingeniería, informática y diseño*, 2020. [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>. [Accessed: 01- Oct- 2020].
 38. [37] A. Polanco Risquet and O. Carralero Ibargollen, "Medición simultánea de gases con sensores MQ", *http://scielo.sld.cu/*, 2020. [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282020000100034. [Accessed: 01- Oct- 2020].
 39. [38] "Gas sensors based on conducting polymers", *Ezproxy.uac.edu.co*, 2020. [Online]. Available: <https://ezproxy.uac.edu.co:2102/record/display.uri?eid=2-s2.0-34047135967&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=non-invasive+clinical+diagnosis+VOC&st2=&sid=666ca546e48fb792caca655d1d4b8f75&sot=b>

- &sdt=b&sl=50&s=TITLE-ABS-KEY%28non-invasive+clinical+diagnosis+VOC%29&recordRank. [Accessed: 01- Oct- 2020].
40. [39] Pandya and Chandra, "Fabrication and characterization of low temperature acetone sensor using CuO nanowires", *Ezproxy.uac.edu.co*, 2020. [Online]. Available: <https://ezproxy.uac.edu.co:2102/record/display.uri?eid=2-s2.0-84857256313&origin=reflist&sort=plf-f&src=s&st1=non-invasive+clinical+diagnosis+VOC&st2=&sid=666ca546e48fb792caca655d1d4b8f75&sot=b&sdt=b&sl=50&s=TITLE-ABS-KEY%28non-invasive+clinical+diagnosis+VOC%29&recordRank>. [Accessed: 01- Oct- 2020].
 41. [40] Dragonieri, S., Pennazza, G., Carratu, P. et al. Electronic Nose Technology in Respiratory Diseases. *Lung* 195, 157–165 (2017). <https://ezproxy.uac.edu.co:2104/10.1007/s00408-017-9987-3>
 42. [41]. <http://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/166> [5]J. RODRÍGUEZ GAMBOA, "institución universitaria", *Repositorio.itm.edu.co*, 2020. [Online]. Available: <http://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/166/RodriguezGamboaJuanCarlos2013.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. [Accessed: 01- Oct- 2020].
 43. [42] <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/unipamplona/137> [3]J. Cáceres Tarazona, "Desarrollo de un sistema de olfato electrónico para la detección de cáncer gástrico a través del aliento exhalado.", *Repositoriodspace.unipamplona.edu.co*, 2020. [Online]. Available: <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/unipamplona/137>. [Accessed: 01- Oct- 2020]. CÁNCER GÁSTRICO IMPORTANTE universidad de pamplona [42].
 44. [43]D. Capurro and G. Rada, "El proceso diagnóstico", *SciELO*, 2007. [Online]. Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872007000400018. [Accessed: 13- Oct- 2020].
 45. [44]"El arte del diagnóstico", *SciELO*, 2006. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-75852006000200010. [Accessed: 13- Oct- 2020].
 46. [45]"Uso de tests diagnósticos en la práctica clínica (Parte 1). Análisis de las propiedades de un test diagnóstico", *SciELO*, 2020. [Online]. Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182010000300004. [Accessed: 13- Oct- 2020].
 47. [46]"El método Clínico: Perspectivas actuales.", *Artículo de revisión*, 2017. [Online]. Available: <https://www.revistabionatura.com/files/2017.02.01.8.pdf>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
 48. [47]"Diccionario de cáncer del NCI", *Instituto Nacional del Cáncer*. [Online]. Available: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/cancer-en-estadio-tardio>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
 49. [48]"Fracaso en Diagnosticar, Diagnóstico Erróneo o Diagnóstico Tardío", *Moll Law Group*. [Online]. Available: <https://www.mollawgroup.com/fracaso-en-diagnosticar-diagnostico-erroneo-o-diagnostico-tardio.html>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
 50. [49]"DIAGNOSTICO PRECOZ Definición, glosario - espacioLogopedico", *EspacioLogopedico.com*, 2020. [Online]. Available: <https://www.espaciologopedico.com/recursos/glosariodet.php?Id=34>. [Accessed: 13- Oct- 2020].

51. [50]"Diagnóstico precoz de las enfermedades", *Sanitas*. [Online]. Available: <https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/prevencion-salud/san041825wr.html>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
52. [51]"Diagnóstico temprano", *Sisbib.unmsm.edu.pe*, 2002. [Online]. Available: https://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/Paediatria/v04_n3/diagn%C3%B3stico_temprano.htm. [Accessed: 13- Oct- 2020].
53. [52] F. William C. Shiel Jr., "Symptom Checker: Medical Symptoms and Signs of Disease", *MedicineNet*. [Online]. Available: https://www.medicinenet.com/symptoms_and_signs/symptomchecker.htm#introView. [Accessed: 13- Oct- 2020].
54. [53] "DEFINICIÓN DE SÍNTOMA", *Definición. De*, 2014. [Online]. Available: <https://definicion.de/sintoma/#:~:text=En%20el%20%C3%A1mbito%20de%20la,algo%20an%C3%B3malo%20en%20su%20organismo>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
55. [52]"Diccionario de cáncer del NCI", *Signo*, 2020. [Online]. Available: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/signo>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
56. [55]"ISTAS: Compuestos orgánicos volátiles (COV)", *Risctox.istas.net*. [Online]. Available: <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=621>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
57. [56]"relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones", *DIRECTIVA 1999/13/CE DEL CONSEJO*, 1999. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:085:0001:0022:ES:PDF>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
58. [57]"No invasivo: MedlinePlus enciclopedia médica", *Medlineplus.gov*. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002269.htm>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
59. [58]"Qué es procedimiento invasivo?", *saludcapital.gov.co*. [Online]. Available: <http://www.saludcapital.gov.co/sitios/SectorBelleza/Paginas/Procedimientosinvasivos.aspx>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
60. [59]"Cuidados tras procedimientos invasivos", <https://www.fisterra.com/>, 2020. [Online]. Available: https://www.fisterra.com/recursos_web/libros/cardiologia_pediatria_ap/pdf/23-cuidados_tras_procedimientos_invasivos.pdf. [Accessed: 13- Oct- 2020].
61. [60]"Normas legales a partir de la constitución Política Colombiana de dispositivos Médicos", <http://www.med-informatica.net/>, 2020. [Online]. Available: http://www.med-informatica.net/TERAPEUTICA-STAR/DispositivosMedicos_NormatividadApartirDeCPCol_SaludCapital.pdf. [Accessed: 13- Oct- 2020].
62. [61]"LEY 9 DE 1979", *Minsalud.gov.co*, 1979. [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf. [Accessed: 13- Oct- 2020].
63. [62]"RESOLUCION 4816 DE 2008", <http://www.saludcapital.gov.co/>, 2008. [Online]. Available: <http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Tecnovigilancia/Resoluci%C3%B3n%204816%20de%202008.pdf>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
64. [63]"Resolución 1319 de 2010", <https://www.minsalud.gov.co/>, 2010. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n%201319%20DE%202010.pdf>. [Accessed: 13- Oct- 2020].
65. [64]"DECRETO NÚMERO 4725 DE 2005", <https://www.who.int/>, 2005. [Online]. Available: https://www.who.int/medical_devices/survey_resources/health_technology_national_policy_colombia.pdf. [Accessed: 13- Oct- 2020].

66. [65] "¿Qué son las normas ISO y cuál es su finalidad?", *Software ISO*, 2015. [Online]. Available: <https://www.isotools.org/2015/03/19/que-son-las-normas-iso-y-cual-es-su-finalidad/>. [Accessed: 24- Oct- 2020].
67. [66] "International Organization for Standardization", *ISO*, 2020. [Online]. Available: <https://www.iso.org/home.html>. [Accessed: 24- Oct- 2020].
68. [67] "Certificación ISO 13485 para dispositivos médicos", *Lloyd's Register*. [Online]. Available: <https://www.lr.org/es-cl/iso-13485/>. [Accessed: 24- Oct- 2020].
69. [68] "La norma para dispositivos medicos ISO 13485", *Bsigroup.com*, 2020. [Online]. Available: <https://www.bsigroup.com/es-CO/iso-13485-dispositivos-medicos/>. [Accessed: 24- Oct- 2020].
70. [69] "ISO 9001 - Software ISO 9001 de Sistemas de Gestión ISO", *Software ISO*, 2020. [Online]. Available: <https://www.isotools.org/normas/calidad/iso-9001/>. [Accessed: 24- Oct- 2020].
71. [70] "ISO 13485, Sistemas de Gestión de la Calidad en Productos Sanitarios", *Intedya.com*. [Online]. Available: <https://www.intedya.com/internacional/4/consultoria-sistemas-de-gestion-de-la-calidad-en-productos-sanitarios-iso-13485.html>. [Accessed: 24- Oct- 2020].
72. [71] "ISO 27001 - Software ISO 27001 de Sistemas de Gestión", *Software ISO*, 2020. [Online]. Available: <https://www.isotools.org/normas/riesgos-y-seguridad/iso-27001/>. [Accessed: 26- Oct- 2020].
73. [72] [2]J. Antomás and S. Huarte del Barrio, "Confidencialidad e historia clínica: Consideraciones ético-legales", *Scielo.isciii.es*, 2011. [Online]. Available: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272011000100008. [Accessed: 26- Oct- 2020].
74. [73] "ISO 27001 - Seguridad de la información: norma ISO IEC 27001/27002", *Normas ISO*, 2020. [Online]. Available: <https://www.normas-iso.com/iso-27001/>. [Accessed: 26- Oct- 2020].
75. [74] "4 fases para implementar la ISO 27001 en una organización - EALDE", *EALDE Business School*, 2019. [Online]. Available: <https://www.ealde.es/fases-implementar-iso-27001-seguridad-informacion/>. [Accessed: 26- Oct- 2020].
76. [75] C. Ramos, "LOS PARADIGMAS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA", *Unife.edu.pe*. [Online]. Available: http://www.unife.edu.pe/publicaciones/revistas/psicologia/2015_1/Carlos_Ramos.pdf. [Accessed: 30- Oct- 2020].
77. [76] V. Martínez Godínez, "Paradigmas de investigación", *Pics.unison.mx*, 2013. [Online]. Available: https://pics.unison.mx/wp-content/uploads/2013/10/7_Paradigmas_de_investigacion_2013.pdf. [Accessed: 30- Oct- 2020].
78. [77] Ricoy Lorenzo, "Contribución sobre los paradigmas de investigación", *Redalyc.org*, 2006. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/1171/117117257002.pdf>. [Accessed: 30- Oct- 2020].
79. [78] "El paradigma positivista y el paradigma interpretativo", *Baripedia.org*, 2019. [Online]. Available: https://baripedia.org/wiki/El_paradigma_positivista_y_el_paradigma_interpretativo. [Accessed: 30- Oct- 2020].
80. [79] "Aplicación básica de los métodos científicos", *Uaeh.edu.mx*. [Online]. Available: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES42.pdf. [Accessed: 30- Oct- 2020].
81. [80] L. Alvarado and García, "Características más relevantes del paradigma sociocrítico: su aplicación en investigaciones de educación ambiental y de enseñanza de las ciencias realizadas en el Doctorado de Educación del Instituto Pedagógico de

- Caracas", *Redalyc.org*, 2008. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41011837011>. [Accessed: 30- Oct- 2020].
82. [81] T. CANIVE and R. BALET, "Enfoque y características del Método Cuantitativo", *Gestor de proyectos online*. [Online]. Available: <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/metodo-cuantitativo>. [Accessed: 30- Oct- 2020].
83. [82] M. Estela Raffino, "Método Cuantitativo - Concepto, usos, ejemplos y características", *Concepto.de*, 2020. [Online]. Available: <https://concepto.de/metodo-cuantitativo/>. [Accessed: 30- Oct- 2020].
84. [83] "▷【Método CUANTITATIVO】» Tipos, 10 ejemplos y más ✓", *101metodos.xyz*. [Online]. Available: <https://101metodos.xyz/cuantitativo/>. [Accessed: 30- Oct- 2020].
85. [84] "METODOLOGIA CUALITATIVA", *Ujaen.es*. [Online]. Available: http://www.ujaen.es/investigat/ics_tfg/enfo_cuali.html. [Accessed: 30- Oct- 2020].
86. [85] Z. Lugo, "Diferencia entre población y muestra", *Diferenciador*. [Online]. Available: <https://www.diferenciador.com/poblacion-y-muestra/#:~:text=Poblaci%C3%B3n%20se%20refiere%20al%20universo,poblaci%C3%B3n%20para%20realizar%20un%20estudio.&text=Universo%20de%20elementos%20que%20se%20van%20a%20estudiar>. [Accessed: 30- Oct- 2020].
87. [86] N. Díaz de León, "Población y Muestra", *Core.ac.uk*. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/80531608.pdf>. [Accessed: 30- Oct- 2020].
88. [87] P. López, "POBLACIÓN MUESTRA Y MUESTREO", *Scielo.org.bo*, 2004. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012#:~:text=b\)%20Muestra.,parte%20representativa%20de%20la%20poblaci%C3%B3n](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012#:~:text=b)%20Muestra.,parte%20representativa%20de%20la%20poblaci%C3%B3n). [Accessed: 30- Oct- 2020].
89. [88] L. Mata Solís, "Métodos y técnicas de investigación cuantitativa", *Investigalia*. [Online]. Available: <https://investigaliacr.com/investigacion/metodos-y-tecnicas-de-investigacion-cuantitativa/>. [Accessed: 06- Nov- 2020].
90. [89] "Sección 2: Procedimientos metodológicos - Metodología del aprendizaje - CNB", *Cnbguatemala.org*, 2020. [Online]. Available: http://cnbguatemala.org/wiki/Secci%C3%B3n_2:_Procedimientos_metodol%C3%B3gicos_-_Metodolog%C3%ADa_del_aprendizaje#:~:text=Los%20procedimientos%20metodol%C3%B3gicos%20son%20complemento,de%20el%20y%20la%20estudiante. [Accessed: 06- Nov- 2020].
91. [90] S. Lux and Juliana, "Proceso metodológico (trabajo social)", *Slideshare.net*, 2016. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/SilviaLux/proceso-metodolgico-trabajo-social>. [Accessed: 06- Nov- 2020].