

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE NARIZ ELECTRÓNICA PARA EVALUAR
EL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DEL BIOGÁS
GENERADO EN EL RELLENO SANITARIO “LAS GARZAS” EN EL MUNICIPIO DE
ARAUCA.

Autor:

DEINER ALEXANDER SOLANO LOZADA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, Octubre 15 de 2021

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE NARIZ ELECTRÓNICA PARA EVALUAR
EL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DEL BIOGÁS
GENERADO EN EL RELLENO SANITARIO “LAS GARZAS” EN EL MUNICIPIO DE
ARAUCA.

Autor:

DEINER ALEXANDER SOLANO LOZADA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Director:

VICTOR JULIO VARGAS SARMIENTO

MSc. Energías renovables y sostenibilidad energética

Email: victor.vargas@unipamplona.edu.co

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a:

CONTENIDO

1	INTRODUCCION.....	11
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	12
3	OBJETIVOS.....	13
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.3	ALCANCES Y LIMITACIONES	14
4	MARCO TEORICO	15
4.1	BIOGÁS.....	15
4.1.1	COMPOSICIÓN FRECUENTE DE COMPUESTOS EN EL BIOGÁS.....	15
4.1.2	AROMÁTICOS.....	16
4.1.3	BENCENO, ETIL BENCENO, TOLUENO	17
4.1.4	ALCOHOLES	17
4.1.5	COLORURO DE METANO.....	17
4.2	RELLENOS SANITARIOS	17
4.3	POTENCIAL DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA.....	18
4.4	LAS GARZAS, MUNICIPIO DE ARAUCA.....	18
4.5	COMPUESTOS Y VOLATILES	20
4.5.1	DIOXIDO DE CARBONO	20
4.5.2	NITRÓGENO.....	21
4.5.3	OXÍGENO.....	21
4.5.4	AMONIACO	21
4.5.5	HIDRÓGENO	21
4.5.6	MONÓXIDO DE CARBONO.....	21
4.5.7	SULFURO DE HIDRÓGENO.....	22
4.5.8	ARGÓN.....	22
4.6	NARIZ ELECTRÓNICA	22
4.7	VARIABLES DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA.....	23
4.7.1	TEMPERATURA.....	23
4.7.2	PRESIÓN	23
4.8	SISTEMAS EMBEBIDOS	23
4.8.1	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS SISTEMAS EMBEBIDOS	23

4.9	TEXAS INSTRUMENTS.....	24
4.10	TIVA TM4C123G.....	24
4.11	PYTHON.....	25
4.12	SENSORES DE GAS	25
4.12.1	MQ-2	25
4.12.2	MQ-3	27
4.12.3	MQ-5	28
4.12.4	MQ-6	29
4.12.5	MQ-7	30
4.12.6	MQ-8	31
4.12.7	MQ-9	32
4.12.8	MQ-135	33
5	METODOLOGÍA.....	35
5.1	VARIABLES EN EL DISEÑO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA Y PARAMETROS DEL PROTOTIPO.....	35
5.2	DISEÑO CAD Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	39
5.2.1	DISEÑO CAD PRINCIPAL	40
5.2.2	DISEÑO ELECTRÓNICO.....	41
5.2.3	INSTRUMENTOS QUÍMICOS	42
5.3	ETAPA SENSORIAL.....	43
5.3.1	SENSORES DE GAS (MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9) 44	
5.3.2	CÁLCULOS Y ECUACIONES PARA LA CALIBRACIÓN	45
5.3.3	BPM180.....	49
5.4	ADQUISICIÓN DE LOS DATOS Y SU VISUALIZACIÓN	50
5.5	PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE LOS COMPUESTOS VOLATILES 52	
6	RESULTADOS Y DISCUSIONES	54
6.1	IMPLEMENTACIÓN DE DISEÑOS	54
6.1.1	ESQUEMA ELECTRÓNICO DE LAS CONEXIONES DE LA TIVA TM4C123G.....	54
6.1.2	ESQUEMA DE CONEXIONES DE LOS SENSORES MQ.....	55
6.1.3	ESQUEMA DE LA FUENTE DE VOLTAJE.....	55
6.1.4	CIRCUITO IMPRESO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA	56

6.2	PROTOTIPO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA.....	58
6.2.1	COMPONENTES USADOS PARA EL DESARROLLO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA	59
6.3	FUNCIONAMIENTO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA.....	61
6.4	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BIOGÁS GENERADO EN LOS RELLENOS SANITARIOS	62
6.5	BÚSQUEDA DE PRODUCCIÓN ENERGÉTICA A PARTIR DEL BIOGÁS GENERADO DEL RELLENO SANITARIO LAS GARZAS	70
6.6	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL BIOGÁS.....	73
7	CONCLUSIONES.....	75
8	BIBLIOGRAFIA	76
9	ANEXOS	79

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Potencial de calentamiento	20
Tabla 2. Interruptores de usuario y señal de Led RGB asociadas a las salidas GPIO.....	24
Tabla 3. Configuración de pines de los Módulos MQ.....	45
Tabla 4. Configuración de pines del sensor BMP180	49
Tabla 5. Gases sensados por el MQ-2	63
Tabla 6. Gases sensados por el MQ-3	64
Tabla 7. Gases sensados por el MQ-5	65
Tabla 8. Gases sensados por el MQ-6	66
Tabla 9. Gases sensados por el MQ-7	67
Tabla 10. Gases sensados por el MQ-8	68
Tabla 11. Gases sensados por el MQ-9	69

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Lixiviado. [Imagen] Autor: propio.....	16
Figura 2. Extracción de lixiviado. [Imagen] Autor: propio.....	16
Figura 3. Revista Semana. Relleno Sanitario. (2019). [Imagen] Autor: Istock. https://www.semana.com/resizer/zf1FOFfffd_gV8MOeMay0SJUzJg=/1200x675/filters:format(jpg):quality(50)//cloudfront-us-east-1.images.arcpublishing.com/semana/ICNOAYCCXFERHMFQGWQSDX42RKQ.jpg	18
Figura 4. Piscina de lixiviados. [Imagen].....	19
Figura 5. Fosa de lixiviado. [Imagen] Autor: propio.....	19
Figura 6. Lixiviado. [Imagen]. Autor: propio.....	20
Figura 7. Tarjeta Tiva C Series LaunchPad.....	25
Figura 8. Sensor de gas MQ-2.....	27
Figura 9. Sensor de gas MQ-3.....	28
Figura 10. Sensor de gas MQ-5.....	29
Figura 11. Sensor de gas MQ-6.....	30
Figura 12. Sensor de gas MQ-7.....	31
Figura 13. Sensor de gas MQ-8.....	32
Figura 14. Sensor de gas MQ-9.....	33
Figura 15. Sensor de gas MQ-135.....	34
Figura 16. Metodología del proyecto.....	35
Figura 17. Sensores MQ, calentamiento de 24 horas.....	36
Figura 18. Esterilización de la cámara.....	37
Figura 19. Limpieza del material.....	38
Figura 20. Actividades en el punto de uso.....	38
Figura 21. Actividades en el punto de uso 2.....	39
Figura 22. Prototipo de la nariz electrónica.....	40
Figura 23. Diseño CAD de la cámara de gas.....	40
Figura 24. PCB Tarjeta de Sensores MQ.....	41
Figura 25. Diseño 3D de la Tarjeta de Sensores MQ.....	41
Figura 26. Vaso precipitado con la muestra del relleno sanitario las GARZAS.....	42
Figura 27. Guantes de látex usados para manipular las muestras del relleno sanitario.....	43
Figura 28. Matriz de sensores MQ.....	43
Figura 29. Sensor de gas MQ.....	44
Figura 30. Esquema de conexión general para los módulos MQ.....	44
Figura 31. Sensor de gas serie MQ.....	45
Figura 32. Tarjeta para sensores MQ.....	45
Figura 33. Esquema interno del módulo de la serie MQ.....	46
Figura 34. Curva del sensor MQ.....	47
Figura 35. Esquema de conexiones de la TIVA y el sensor BMP180.....	50
Figura 36. Sistema de adquisición de la nariz electrónica.....	51
Figura 37. Vectores adquiridos de los sensores MQ.....	51
Figura 38. Grafica de los vectores adquiridos de los sensores MQ y línea base.....	52

Figura 39. Adquisición de los gases del lixiviado.....	53
Figura 40. Esquema de conexiones de la TIVA TM4C123G.....	54
Figura 41. Esquema de conexiones de los sensores MQ.....	55
Figura 42. Esquema de la fuente de voltaje con regulador LM7805.....	55
Figura 43. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista 2D	56
Figura 44. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista 3D	56
Figura 45. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista 3D	57
Figura 46. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista real	57
Figura 47. Circuito electrónico de la nariz parte trasera.....	58
Figura 48. Nariz electrónica diseño CAD	58
Figura 49. Nariz electrónica conectada a un equipo de computo.....	59
Figura 50. Preparación de la muestra del relleno sanitario.....	61
Figura 51. Nariz electrónica funcionando	62
Figura 52. Curva característica de sensibilidad MQ-2	63
Figura 53. Curva característica de sensibilidad MQ-3	64
Figura 54. Curva característica de sensibilidad MQ-5	65
Figura 55. Curva característica de sensibilidad MQ-6	66
Figura 56. Curva característica de sensibilidad MQ-7	67
Figura 57. Curva característica de sensibilidad MQ-8	68
Figura 58. Curva característica de sensibilidad MQ-9	69
Figura 59. Medición del sensor 1 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-3).....	70
Figura 60. Medición del sensor 2 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-6).....	71
Figura 61. Medición del sensor 3 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-7).....	71
Figura 62. Medición del sensor 4 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-5).....	72
Figura 63. Medición del sensor 5 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-8).....	72
Figura 64. Tratamientos y usos del biogás, Fuente: Dudek et., 2010.....	73
Figura 65. Sistema de producción de energía eléctrica a partir del biogás	74
Figura 66. Algoritmo para guardar los datos recibidos por el sistema embebido	79
Figura 67. Código de procesamiento y ploteo de las señales	79

1 INTRODUCCION

En este proyecto se desarrollará un prototipo de nariz electrónica, con el fin de examinar muestras de biogás generadas a partir del relleno sanitario “LAS GARZAS” del municipio de Arauca. Con las muestras del biogás obtenidas, se determina el potencial de generación de energía eléctrica, a partir de la composición del biogás que depende de diversas variables, dentro de las que sobresalen las características y volumen del residuo, humedad, compactación y edad del relleno sanitario. La generación de emisiones de biogás varía en el tiempo y con las condiciones ambientales.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En el municipio de Arauca se utilizan rellenos sanitarios para el proceso final de la basura. El biogás es un gas combustible que se genera por la descomposición microbiológica de la materia orgánica en un proceso natural que tiene lugar en un entorno húmedo y anaeróbico. A este proceso de descomposición se le denomina digestión anaeróbica. En cada una de las etapas de descomposición anaeróbica actúan distintas bacterias, estas transforman la materia orgánica en diferentes compuestos como azúcares, ácidos grasos, ácido acético, hasta llegar a un producto final como el metano. La quema o combustión de biogás para recuperar la energía representa importantes beneficios ambientales, económicos y energéticos. El gas de metano busca desde el interior de la celda hacia la atmosfera, teniendo riesgo de explosión si su concentración va desde 5 al 15% en volumen. En los rellenos sanitarios se crean gases que contaminan el ambiente esto recientemente, y por la capacidad del metano de incidir en el efecto invernadero, se está promoviendo la quema de los gases emitidos por los rellenos tal y como ocurre en el caso del relleno sanitario de “LAS GARZAS”. Como se mencionó, el biogás emitido por los rellenos sanitarios contiene metano, dióxido de carbono, compuestos orgánicos no metánicos y sustancias tóxicas como el mercurio. Vale la pena destacar que, aunque se quemen los gases generados en los rellenos sanitarios, este proceso no evita la emisión de sustancias tóxicas a través de las chimeneas, aunque la transformación de metano en dióxido de carbono puede ser visto como un mal menor por la capacidad menor en términos de contaminación del segundo gas. El aprovechamiento del biogás se convierte en una opción real a partir de alternativas que corresponden a su uso directo como combustible de poder calorífico medio, su utilización en la generación de energía eléctrica.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de nariz electrónica para evaluar el potencial de producción eléctrica a partir del biogás generado en el relleno sanitario “LAS GARZAS” en el municipio de Arauca.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar una matriz de sensores idóneos para la identificación de los componentes del biogás generado en los rellenos sanitarios.

Implementar el prototipo de nariz electrónica apta para la detección de los componentes del biogás.

Validar el prototipo de nariz electrónica mediante su aplicación en campo

Evaluar las posibilidades de producción de energía eléctrica a partir de la transformación del biogás.

3.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

El prototipo de nariz electrónica para evaluar el potencial de producción eléctrica a partir del biogás generado de los lixiviados del relleno sanitario las GARZAS, se implementa para realizar pruebas, donde se inserta una muestra con los métodos de esterilización apropiados para no contaminar la cámara ni la persona que esta manipulando el lixiviado.

El prototipo tiene como finalidad encontrar los diferentes compuestos y biogás generados por el lixiviado adquirido en el relleno sanitario. Este prototipo es implementado para muestras en instrumentos químicos apropiados como lo pueden ser: vasos precipitados, Erlenmeyer o tubos de ensayo.

La cámara de medida tiene como objetivo principal detectar los gases generados por el lixiviado del relleno sanitario, se requiere una calibración previa de los sensores en un mismo ambiente ya que este siempre va a estar en un mismo lugar. El monitoreo se realizó a través de la TIVA TM4C123GXL usando una comunicación serial para el envío de los datos que llega al lenguaje de programación Python y los guarda en un vector para realizar su respectivo procesamiento.

4 MARCO TEORICO

4.1 BIOGÁS

El biogás es un compuesto que principalmente se utiliza para la obtención de energía térmica, como lo es el calor, es generado por medios naturales, como lo es en este caso, el biogás que se genera en los rellenos sanitarios del municipio de Arauca, pero hay que entender que el biogás es un compuesto de una mezcla de diferentes propiedades químicas, como lo son el metano, el gas carbónico, el oxígeno y el nitrógeno, además de contener diversas impurezas.

“Está ampliamente reconocido que el biogás es una fuente potencialmente significativa de energía” (Quetzalli et al. 2011, p. 57). Por ello, el biogás puede utilizarse en un proceso industrial para no solo generar calor, sino electricidad. (Manual de biogás, 2011). Es decir, los residuos que no son peligrosos para el uso y generación del biogás pasan por un proceso orgánico que genera gases manipulables de uso humano, un ejemplo podría ser el uso del gas para cocinar o, por el contrario, se podría usar para generar electricidad para generadores de calor. De esa manera el biogás se considera una fuente de energía renovable, que ayuda en el impacto medio ambiental, es decir, en el empleo de las plantas de biogás con la reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios. (Manual de biogás, 2011).

4.1.1 COMPOSICIÓN FRECUENTE DE COMPUESTOS EN EL BIOGÁS

Como se entiende, el biogás tiene múltiples beneficios y compuestos que aceleran la descomposición mediante la digestión anaeróbica, es decir, en el proceso anaeróbico se clasifica de la manera en que los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás, ya que, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, pueden complicar el manejo y el aprovechamiento del mismo, por ello, fue difícil hacer uso del biogás y por su lado, se hizo uso del lixiviado que surge del relleno sanitario, un ejemplo sería el agua de lluvia, que pasa por las capas del relleno sanitario y permea consigo todas las partículas fermentadas que surgen exclusivamente de la densidad de las capas acumuladas. Al filtrarse por medio del relleno sanitario, luego se recoge y posteriormente se trata. (Manual de biogás, 2011).

En las imágenes a continuación, se puede ver con claridad la fuente de la que sustrajo el lixiviado, y el lixiviado previamente guardado para el análisis de la potencia de producción eléctrica en la nariz electrónica.

Aunque es menester resaltar que el gas de los rellenos está saturado comúnmente por vapor de agua y presenta cantidades pequeñas de componentes orgánicos no metanos. (Quetzalli et al., 2011).



Figura 1. Lixiviado. [Imagen] Autor: propio.



Figura 2. Extracción de lixiviado. [Imagen] Autor: propio.

4.1.2 AROMÁTICOS

Los compuestos aromáticos, son compuestos en su mayoría orgánicos, que contienen átomos de carbono o hidrogeno, es decir que estos compuestos son aquellos que poseen propiedades específicas y asociadas con el núcleo del benceno, pero es menester resaltar que no todos los compuestos aromáticos están basados en este. En su mayoría los aromáticos tienen un sinnúmero de usos, como lo son los productos puros, pero se utilizan principalmente en forma de mezclas que actúan como disolventes y como constituyentes, en proporción variable de la

gasolina. (Mager, s.f.). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la manipulación de estos compuestos aromáticos puede causar efectos crónicos en el sistema nervioso central, por lo que es recomendado, tener ciertas medidas de seguridad en su ejecución.

4.1.3 BENCENO, ETIL BENCENO, TOLUENO

El benceno es un líquido inflamable que al soltar su vapor produce mezclas explosivas e inflamables, por ello, si no se tienen las precauciones durante su manipulación y almacenamiento, es posible que se hagan concentraciones inflamables. (Mager, s.f.).

El etil-benceno es un producto intermedio en síntesis orgánicas, usado específicamente para la producción de estireno y caucho sintético, además de usarse como disolvente o diluyente y, como componente de los combustibles para aviones y automóviles. (Mager, s.f.).

El tolueno es un disolvente de aceites, usado para la fabricación de detergentes, además de ser usado como disolvente de caucho sintético y natural, también es utilizado en las pinturas como diluyente y es, al igual que el anterior, usado como componente para el combustible de los aviones y la gasolina de los automóviles. (Mager, s.f.).

4.1.4 ALCOHOLES

Es supremamente importante el hecho de que, a la hora de estar en contacto con estos alcoholes, de fines industriales, se proceda de manera inmediata a lavar la zona con abundante agua y jabón, es decir, ya que los alcoholes suelen presentarse como ácidos, es recomendado tener bastante precaución a la hora de manipularse, ya que, siendo también uno de los compuestos orgánico formado a partir de hidrocarburos mediante el cambio de uno o más grupos de hidroxilo, por un número igual de átomos de hidrogeno. (Mager, s.f.).

4.1.5 CLORURO DE METANO

Al igual que los anteriores, el cloruro de metano también tiene un uso industrial, es un líquido volátil, que se suele usar para la remoción de grasas o pinturas, o para usos higiénicos de limpieza profunda, al ser un poderoso solvente, no puede entrar en contacto con la piel, o ser respirado por tiempo prolongado pues produce efectos tales como, mareos, adormecimiento u hormigueos en el cuerpo. Para estos casos es recomendable, no exponerse al cloruro de metano, ya que es toxico.

4.2 RELLENOS SANITARIOS

Los rellenos sanitarios son espacios estratégicamente ubicados para no contaminar el piso, ni las fuentes posibles de agua que esten a sus adyacentes, es decir, en su mayoría son lugares donde se suelen depositar residuos. “A nivel mundial los rellenos representan la tercera fuente más grande de emisiones antropogénicas de metano, lo que constituye aproximadamente el 13% o más de las emisiones de metano”. (Quetzalli et al., 2011, p. 57).

Sin embargo, el biogás tiene aspectos fundamentales cuando se saca de los rellenos sanitarios, al ser una energía alterna, se destaca la producida por los residuos sólidos urbanos depositados en el relleno sanitario. En su mayoría, los componentes del gas de los rellenos sanitarios son el metano y el dióxido de carbono, pero el gas está saturado por vapor de agua y otros varios, como se ha dicho anteriormente. Por ello, es importante analizar el relleno sanitario en el municipio de Arauca, para de esa manera, potenciar la producción de energía alterna como una de las ventajas para conservar recursos naturales y ayudar con el cambio climático.



Figura 3. Revista Semana. Relleno Sanitario. (2019). [Imagen] Autor: Istock.
[https://www.semana.com/resizer/zf1FOFfFd_gV8MOeMay0SjUzJg=/1200x675/filters:format\(jpg\):quality\(50\)//cloudfront-us-east-1.images.arcpublishing.com/semana/ICNOAYCCXFERHMF0GWOSX42RKO.jpg](https://www.semana.com/resizer/zf1FOFfFd_gV8MOeMay0SjUzJg=/1200x675/filters:format(jpg):quality(50)//cloudfront-us-east-1.images.arcpublishing.com/semana/ICNOAYCCXFERHMF0GWOSX42RKO.jpg)

4.3 POTENCIAL DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

El biogás, por tanto, es una de las fuentes de energía alterna para reducir las emisiones de metano a la atmosfera, es decir, el metano tiene un impacto que es 21 veces mayor que dióxido de carbono, lo que contribuye al efecto de los gases de efecto invernadero, además de ayudar a preservar los recursos naturales. (Quetzalli et al., 2011).

Como bien puede usarse en un proceso industrial, el biogás es fuente no solo de energía eléctrica, sino también calórica, por lo que se infiere de él, no solo un impacto medio ambiental, sino múltiples beneficios para aquellos que trabajan consigo, ya que, se están aprovechando los residuos, que se generan por las altas poblaciones, las altas demandas de energía y el impacto medio ambiental se nota de corto a mediano plazo.

4.4 LAS GARZAS, MUNICIPIO DE ARAUCA

Si bien el relleno sanitario “las garzas” en el municipio de Arauca es conocido por los diferentes procesos para la generación de lixiviados y biogás, es menester hablar del paso a paso, para la recolección de los datos de los residuos orgánico, y el de los componentes inorgánicos, para las muestras de lixiviado que se han extraído, es decir, para analizar la importancia de estos rellenos sanitarios con residuos como lo son el papel, el plástico, residuos de comida, entre muchos más.



Figura 4. Piscina de lixiviados. [Imagen]

<https://kapitalstereo.com/2017/01/26/relleno-sanitario-las-garzas-viene-siendo-usado-municipio-cubara-panama-arauca/>

El primer paso fue acercarnos para recoger la muestra de lixiviado que se procesa en el relleno sanitario de las garzas en el municipio de Arauca, tal como lo muestra la siguiente imagen.



Figura 5. Fosa de lixiviado. [Imagen] Autor: propio.

También es importante mencionar lo que es el lixiviado, ya que tiene diferentes procesos en los rellenos sanitarios, para su extracción y que es en general el agua con olor maluco que proviene de estos rellenos con presencia de residuos orgánicos e inorgánicos, normalmente se suele identificar con olor a huevo podrido, que después de procesarse por medio de tanques y algunos otros procesos, termina siendo biogás.



Figura 6. Lixiviado. [Imagen]. Autor: propio.

4.5 COMPUESTOS Y VOLATILES

Los compuestos y volátiles suelen tener diferentes propiedades que representan el proceso que se lleva a cabo, cuando una sustancia suele evaporarse con facilidad, es decir, existen algunos gases que son volátiles y producen por conversiones y procesos químicos, - como, por ejemplo, la gasolina o el alcohol, - una evaporación en el medio ambiente.

Por ello es importante prestar atención a estos gases o ácidos que suelen evaporarse cuando por falta de oxígeno, terminan fermentándose, ya que, son el resultado de procesos naturales y orgánicos que permiten poder comparar los diferentes gases de efecto invernadero

4.5.1 DIOXIDO DE CARBONO

Para poder entender o comparar un poco la cantidad o el efecto de los diferentes gases, como en este caso, el dióxido de carbono, es menester tener en cuenta la siguiente tabla, para poder representar una medida de su efecto invernadero

Tabla 1. Potencial de calentamiento

Gas	Potencial de calentamiento
CO ₂ (Dioxido de carbono)	1
Ch ₄ (Metano)	21

El dióxido de carbono es menor a la producción de metano, es decir, el metano es un gas de efecto invernadero más potente que el dióxido de carbono, 21 veces mayor.

4.5.2 NITRÓGENO

Al igual que el carbono, el nitrógeno es una de las principales fuentes de alimentación de las bacterias que realizan en el proceso metanogénico, es decir, el nitrógeno es usado para la formación de nuevas células, y el carbono constituye la fuente de energía, por tanto, las bacterias terminan por consumir 30 veces más carbono que nitrógeno. (Manual de biogás, 2011). El proceso metanogénico se encarga de la producción del biogás, por tanto es importante, llevar un monitoreo cuidadoso sobre las condiciones ambientales.

4.5.3 OXÍGENO

El oxígeno al ser un compuesto que está ausente cuando se presenta la fermentación por los residuos denominados lixiviados, es decir, que al ser un componente como el gas que se encuentra en el aire, permite la recolección y el tratamiento posterior de las capas densas de residuos en los rellenos sanitarios y permiten que los microorganismos que están en la parte del proceso químico, den paso a la descomposición del material biodegradable presente en el relleno sanitario y que lleva por nombre, proceso anaeróbico. De aquí que surjan gases como el metano y el dióxido de carbono.

4.5.4 AMONIACO

El amoníaco suele presentarse cuando se destruye la materia orgánica, principalmente son las proteínas las que suelen liberar el amoníaco. Cuando el amoníaco suele reaccionar con el dióxido de carbono, termina por generar una reacción bioquímica que se denomina bicarbonato de amonio. (Manual de biogás, 2011). Al ser un gas que es soluble en agua, y está compuesto de nitrógeno e hidrogeno, facilita la formación y fabricación para uso industrial e higiénico, como lo son los productos básicos para la limpieza o también están presentes en los abonos, aunque suelen tener un olor fuerte. Resulta siendo uno de los constituyentes de origen natural que se hallan en la atmosfera. (Delgado, 2005).

4.5.5 HIDRÓGENO

Es también un compuesto intermedio del proceso anaeróbico, es decir, su acumulación en el medio puede provocar la inhibición de la acetogénesis y, en consecuencia, la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono. (Manual de biogás, 2011). En este apartado es importante resaltar la importancia de la purificación a la hora de acondicionar el biogás, ya que, la purificación es importante pues se elimina gran parte del dióxido de carbono y el vapor del agua, además de otros gases que se suelen acumular, mientras que la reformación se traduce como la conversión que se hace del metano en hidrogeno.

4.5.6 MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono es producido por la combustión incompleta de sustancias orgánicas, lo que nos lleva a plantearlo como uno de los contaminantes en la capa más baja de la

atmosfera. Pero las concentraciones son lo suficientemente bajas para que no se manifieste s carácter toxico. (Delgado, 2005).

Este se podría anunciar como uno de los gases tóxicos que se adjuntan al biogás y que deben ser procesados para que no haya una reacción brusca en el proceso químico, pero, la producción del ozono puede llevarse a cabo, gracias a la combinación de la oxidación del metano con el monóxido de carbono en presencia de óxidos de nitrógeno y así es como se produce de manera considerable el ozono. Es decir, sin el ozono, los gases reducidos como el monóxido de carbono o los hidrocarburos y la mayoría de los compuestos de azufre y nitrógenos reactivos, terminarían por acumularse considerablemente en la atmosfera. (Delgado, 2005). Por ello, es importante para la producción de ozono, aunque no como las anteriores.

4.5.7 SULFURO DE HIDRÓGENO

Resulta que el sulfuro de hidrogeno se produce en combinación con el vapor de agua en el biogás crudo, por lo que se puede formar ácido sulfúrico el cual resulta siendo un corrosivo potente. Por lo tanto, el sulfuro de hidrogeno es absorbido en el agua y es oxidado biológicamente por microorganismos que lo remueven. (Manual de biogás, 2011). Aunque cuando las plantas que producen biogás son nimias, suelen generar concentraciones bajas en sulfuro de hidrogeno, así que es necesario ver el área de las plantas agrícolas pequeñas.

4.5.8 ARGÓN

El argón es uno de los gases más raros que se hallan en el aire, no es toxico ni inflamable, por lo tanto, resulta siendo un 30% más pesado que el aire, y es caracterizado por una perfecta estabilidad física y química, a cualquier temperatura y presión. Es usado en la mayoría de los casos en los análisis cromatográficos para analizar y separar e identificar, compuestos químicos, por ello, es importante cuando en una muestra hay diferentes mezclas químicas complejas.

4.6 NARIZ ELECTRÓNICA

La nariz electrónica empleada para la potencial producción de energía alterna, como el biogás y su fácil detección para generarse por medio del lixiviado que surge del relleno sanitario “las garzas” del municipio de Arauca, por ello, es necesario que la interacción del olor con el material del sensor sea reversible, a comparación de otros olores, la nariz debería ser capaz de analizar la eficacia de los registros que se obtienen por medio de los sensores y los químicos que son utilizados.

Es importante tener presente las condiciones en las que se realiza la detección del lixiviado, pues, se entienden de él como un proceso químico que ha sido fermentado y que se usa de manera industrial, ya que las moléculas que son usadas para la identificación son moléculas que no pueden ser percibidas por la nariz o el sentido del olfato biológico del humano, es necesario tener presentes las variables de la nariz electrónica. (Moreno, 2009).

4.7 VARIABLES DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA

Las variables de la nariz electrónica se presentan de muchas maneras, las más relevantes tienen que ver con las variables en las respuestas de la nariz en cuanto a las técnicas de reconocimientos de patrones y la capacidad para clasificar y generar respuestas que predicen lo que se está analizando.

Aunque puede tener una desventaja y es que no funciona con algunos otros químicos diferentes, pues genera reacciones en cadena que no dan respuesta a la sensibilidad o los reconocimientos específicos de propiedades diferentes a los módulos de los sensores de gas, por lo tanto, es importante tener presente el hecho de que la nariz electrónica no es lo mismo que el sentido del olfato biológico humano, y tiene ciertas restricciones, ya que, los patrones de reconocimiento provienen de los parámetros fundamentales de las señales que producen los sensores de gas. (Moreno, 2009).

4.7.1 TEMPERATURA

Los procesos de esta nariz electrónica tienen una velocidad de reacción que depende de la temperatura para poder operar bien los parámetros del diseño, es decir, que las variaciones de temperatura que son bruscas pueden desestabilizar la nariz y sus componentes, además de alterar los sensores de gas.

4.7.2 PRESIÓN

Todos los organismos requieren de una fuente de energía para su crecimiento. Los organismos fotótrofos son los que utilizan la luz como fuente de energía. La luz a radiación visible es la radiación electromagnética en el rango de 400 a 700 nm, la cual es sensible al ojo humano, razón por la cual, es usada por las algas y plantas para la fotosíntesis. La radiación visible también es llamada radiación fotosintética activa (PAR por sus siglas en inglés). La fotosíntesis es el proceso en el cual los fotótrofos capturan y convierten la energía de fotones (cantidad de energía electromagnética) a energía utilizada bioquímicamente y es a través de la fotosíntesis que los fotótrofos obtienen la energía y poder reductor necesario para incorporar CO_2 y la fabricación de moléculas orgánicas que se requieren para el crecimiento. (F. Lopez, 2010)

4.8 SISTEMAS EMBEBIDOS

Los sistemas embebidos son utilizados para minimizar costos en el diseño de un producto, además de que se pueden agregar en el diseño protocolos de seguridad y funciones criptográficas que protegen la información.

4.8.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS SISTEMAS EMBEBIDOS

Las características de estos sistemas embebidos suelen tener microcontroladores que permiten manipular las propiedades por medio de un chip con interconexión de entrada y

salida. Es menester manejas cierta reserva cuando se utilizan estos sistemas embebidos para que no haya interferencia en la información.

Por lo tanto, es importante tener desde el inicio, la confianza para crear un sistema totalmente confiable y seguro, para que la seguridad informática sea autentica.

4.9 TEXAS INSTRUMENTS

Texas Instruments, es una empresa global de semiconductores, diseña y fabrica tecnologías de chip y procesamiento de señales analógicas y digitales. TI fue la primera firma en comercializar el transistor de silicio, la radio de bolsillo, el circuito integrado, la calculadora manual, el computador de chip único y el chip LISP.

4.10 TIVA TM4C123G

La tarjeta de evaluación Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad es una tarjeta de evaluación (EK-TM4C123GXL) de bajo costo. Esta plataforma de evaluación es para microcontroladores ARM® Cortex™ -M4F. El diseño de Tiva C series LaunchPad destaca la interfaz del microcontrolador TM4C123GH6PMI con el dispositivo USB 2.0, el cual cuenta con un módulo de hibernación y controla el modulador de ancho de pulso (MC PWM). También cuenta con botones de usuario programable y un LED RGB para aplicaciones personalizadas.

El Tiva C Series LaunchPad puede alimentarse desde una de las dos fuentes de alimentación con las que cuenta:

- Cable USB ICDI integrado (depuración, predeterminado)
- Cable del dispositivo USB (Dispositivo)

El interruptor POWER SELECT (SW3) se utiliza para seleccionar una de las dos fuentes de alimentación. También cuenta con un LED RGB. Este LED se usa en RGB precargado aplicación de inicio rápido y se puede configurar para usar en aplicaciones personalizadas. Dos botones de usuario están incluidos en el tablero. Los botones de usuario se usan en el inicio rápido precargado aplicación para ajustar el espectro de luz del LED RGB y para entrar y salir de la hibernación. El usuario puede usar los botones para otros fines en aplicación personalizada. La placa de evaluación cuenta con un LED de energía verde.

En la tabla a continuación se puede observar (tomada de “Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board”) se muestra como las características físicas mencionadas están conectadas a los pines en el microcontrolador.

Tabla 2. Interruptores de usuario y señal de Led RGB asociadas a las salidas GPIO

GPIO Pin	Pin Function	USB Device
PF4	GPIO	SW1
PF0	GPIO	SW2

PF1	GPIO	RGB LED (Red)
PF2	GPIO	RGB LED (Blue)
PF3	GPIO	RGB LED (Green)

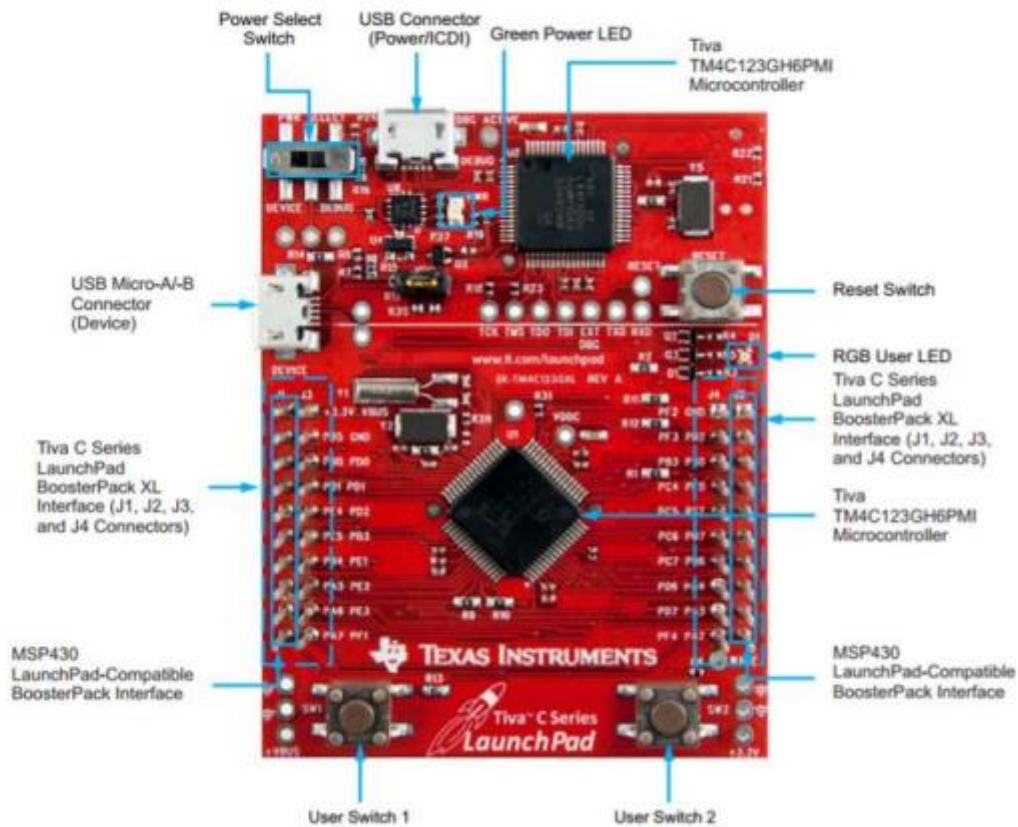


Figura 7. Tarjeta Tiva C Series LaunchPad

4.11 PYTHON

Python es un lenguaje que se interpreta de manera simple y rápida, ya que convierte el lenguaje de propósito general orientado a objetos, en una multiplataforma, permitiendo una sintaxis clara, un lenguaje de alto nivel y lo mejor de todo, es que permite que se realicen aplicaciones como Windows, o servidores de red, incluso páginas web. Tiene diferentes características que permiten las funciones de propósito general, o que se oriente específicamente a objetos.

4.12 SENSORES DE GAS

4.12.1 MQ-2

El MQ-2 Sensor de Gas tiene sensibilidad especial para medir concentraciones de gas en el aire, es sumamente utilizado para medir LPG, propano, hidrógeno, metano y otros

combustibles. Gracias al MQ-2 Sensor de Gas podemos saber si el aire está limpio o libre de gases, gracias a la alta conductividad que presenta el dispositivo en estas condiciones y a medida que detecta concentración de gases, disminuye dicha conductividad. Por lo tanto, la conductividad está relacionada con la concentración de gases en el ambiente, solo debes utilizar un microcontrolador como lector o manipulador de la señal, nosotros te recomendamos utilizar una tarjeta Arduino, la cual también puedes encontrarla en nuestra tienda virtual.

Es un dispositivo ideal para aplicaciones que requieran medir concentraciones de gas natural en el aire ya que puede detectar concentraciones desde 300 hasta 10000 ppm y provee una salida analógica que sale del divisor de voltaje y una resistencia de carga, también puede detectar fugas de Gas en alguna casa o industria. Incluye una salida digital que se calibra con un potenciómetro en el módulo en conjunto con un Led indicador. La resistencia del sensor cambia de acuerdo con la concentración del gas en el aire.

Características del MQ-2:

- Voltaje de Operación adecuado: 5V DC
- Respuesta rápida y alta sensibilidad
- Rango de detección: 300 a 10000 ppm
- Gas característico: 1000ppm, Isobutano
- Resistencia de sensado: 1K Ω 50ppm Tolueno a 20K Ω in
- Tiempo de Respuesta: \leq 10s
- Tiempo de recuperación: \leq 30s
- Temperatura de trabajo: -20 $^{\circ}$ C \sim +55 $^{\circ}$ C
- Humedad: \leq 95% RH
- Contenido de oxígeno ambiental: 21%
- Consume menos de 150mA a 5V.



Figura 8. Sensor de gas MQ-2

4.12.2 MQ-3

El MQ-3 sensor de alcohol, es apto para detectar la concentración de alcohol en el ambiente o para detectar alcohol en el aliento de una persona, justo como lo haría un alcoholímetro. El MQ-3 posee una gran sensibilidad y tiempo de respuesta. La salida del sensor es de tipo analógica (resistivo) que varía en función de la concentración de alcohol detectada, te recomendamos utilizar un controlador como Arduino para poder manipular dicha señal de acuerdo a tus requerimientos y que tu proyecto funcione de forma adecuada. En esta presentación el sensor MQ-3 se entrega en un módulo que contiene toda la electrónica básica necesaria para el funcionamiento del sensor, entregando una señal analógica y digital. La sensibilidad de la señal digital puede ajustarse mediante un potenciómetro ya previamente colocado en el módulo.

Características del MQ-3:

- Compatible para 5V de circuitos DC o AC
- Temperatura de operación: -10°C hasta 70°C
- Consumo de calor: menos que 750mW
- Salida Analógica (variable de acuerdo a la cantidad de alcohol detectada)
- Dimensiones:
 - diámetro 16.8 mm
 - distancia entre pines 9.3 mm



Figura 9. Sensor de gas MQ-3

4.12.3 MQ-5

El MQ-5 Sensor de Gas natural y Gas LPG es un sensor muy recomendado para medir concentraciones de gas licuado de petróleo LPG (compuesto de Propano y Butano) en el ambiente, este sensor es capaz de detectar concentraciones desde 300 hasta 10000ppm. Es un dispositivo muy recomendado debido a su alta sensibilidad y con un tiempo de respuesta rápido en cuanto detecte el gas. Su salida es a través de una terminal, siendo una señal de voltaje analógico variable con respecto a la cantidad censada y lista para conectarse a un microcontrolador de tu preferencia. Su alimentación recomendada es a 5 V.

El MQ 5 también tiene poca sensibilidad a otros tipos de gases como humo de cigarro, alcohol y gas de cocina, gracias a su potenciómetro ajustable de sensibilidad; sin embargo, no es recomendable para estos usos. Si lo prefieres tenemos varios sensores de gas de la línea MQ en nuestra tienda virtual para que adquieras el que mejor se adapte a tu proyecto. Entre sus aplicaciones más comunes puede usarse para la detección de fugas de gas domésticas o en algunas industrias petroleras, textiles, de autos, gasolinerías, inclusive para algunos dispositivos como alcoholímetros, detección de humo de cigarrillo y sistemas contra incendios.



Figura 10. Sensor de gas MQ-5

4.12.4 MQ-6

El sensor MQ-6 sensor de gas es adecuado para detectar la presencia de Gas LP, compuesto principalmente por Propano y Butano y Gas Natural (Metano) en el aire. El sensor puede detectar concentraciones de gas entre 200 y 1000 ppm y es de utilidad para detección de fugas de gas en el hogar y en la industria. Su velocidad de respuesta es bastante buena, por lo que puede activar cualquier dispositivo de manera oportuna. La presentación es en un módulo que puede conectarse a un microcontrolador y se incluye la electrónica básica para realizar la interfaz con el sensor.

Este sensor es ideal para utilizarse en equipos de detección de fugas de gas, ya que evita los errores introducidos por alcohol, el humo de cocina y de cigarrillos.

Características del MQ-6

- El sensor se alimenta con 5 volts
- Alta sensibilidad a LPG (LPG) y Gas Natural (LNG)
- Poca sensibilidad a alcohol y humo
- Rápida velocidad de respuesta
- Estable y de larga vida
- Circuito de manejo simple

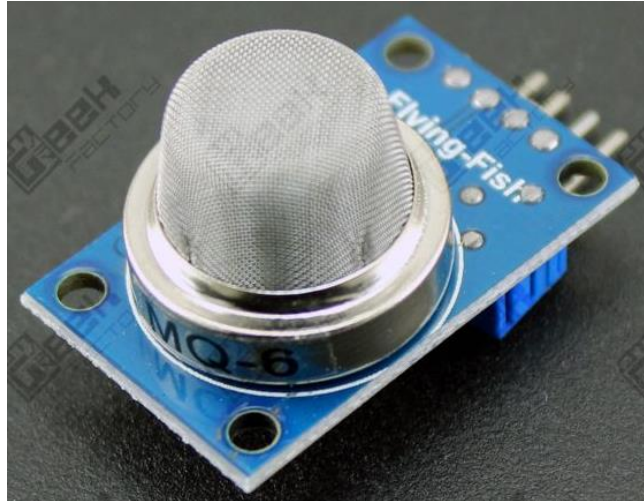


Figura 11. Sensor de gas MQ-6

4.12.5 MQ-7

El sensor MQ-7 es un sensor para la detección de monóxido de carbono (CO) para medir la concentración de este gas en el aire. El MQ-7 puede medir concentraciones de gas monóxido entre 20 a 2000 partes por millón (ppm). El sensor MQ7 posee una alta sensibilidad y rápido tiempo de respuesta, es muy fácil además realizar la interfaz del sensor con un microcontrolador, ya que podemos usar un pin de entrada analógico para medir la concentración del gas. Las conexiones que requiere el sensor son muy básicas solo requiere alimentación de 5V para el elemento calefactor.

En esta presentación el sensor MQ-3 se entrega en un módulo que contiene toda la electrónica básica necesaria para el funcionamiento del sensor, entregando una señal analógica y digital. La sensibilidad de la señal digital puede ajustarse mediante un potenciómetro colocado en el módulo.

Características del MQ-7

- Módulo que incluye el sistema mínimo necesario para el funcionamiento del sensor MQ-7
- Basado en el sensor LM393
- Salida analógica y digital, esta última funciona mediante un comparador analógico.
- Voltaje de alimentación 5 volts
- Detección de concentración de gas monóxido, ideal para alarmas de gas y aplicaciones industriales
- Ajuste de umbral para salida digital mediante potenciómetro.



Figura 12. Sensor de gas MQ-7

4.12.6 MQ-8

El MQ-8 es útil para detectar la presencia de Hidrogeno en el aire (H_2). El sensor posee un excelente rechazo a otros gases presentes en el cómo alcohol y gas LP. El sensor MQ-8 se presenta montado en un módulo que acondiciona la señal analógica y también entrega una señal digital que puede ajustarse para activarse cuando se alcanza una determinada concentración del gas, el ajuste de umbral de la señal digital se realiza mediante un potenciómetro (timpot) localizado en el PCB. El módulo con sensor MQ-8 es ideal para realizar sistemas de medición de concentración de gases, sistemas de alarma y proyectos escolares.

Características del MQ-8

- Voltaje de alimentación: 5 VDC
- Consumo de potencia: 800 mW máximo
- Rango de aplicación desde 100 a 10000 ppm
- El módulo cuenta con salida analógica y digital
- Comparador analógico incluido en el módulo
- Punto de disparo de la señal digital ajustable mediante potenciómetro



Figura 13. Sensor de gas MQ-8

4.12.7 MQ-9

El módulo MQ-9 Sensor de Gas es un dispositivo semiconductor, sensible para detectar cuando existe una cantidad de Monóxido de Carbono en concentraciones de 10 hasta 1000 ppm y gas combustible desde 100 hasta 10000 ppm, en cuanto el sensor detecta alguna de estas señales emitirá una señal analógica variable dependiendo la concentración de gas detectada. El sensor MQ-9 consta de únicamente tres terminales, dos para alimentación, y la tercera entregará una salida analógica de voltaje, únicamente requerirás un microcontrolador para que pueda leer dicha señal y manipularla de acuerdo con las necesidades de tu proyecto. Es compatible con cualquier microcontrolador incluyendo Arduino. Nosotros te recomendamos utilizar un controlador Arduino Uno, disponible en nuestra tienda virtual por si gustas adquirirlo.

La temperatura a la que debe trabajar el sensor de forma óptima es de -10 hasta 50°C y su consumo de Corriente ronda por debajo de los 150mA a 5V.

Especificaciones del MQ-9

- Voltaje de operación: 5V
- Temperatura de operación: -10°C hasta 50°C
- Tipo de interfaz: Analógica
- Definición de pines: 1-Output 2-GND 3-VCC
- Tipo de Sensor: Semiconductor
- Concentración:
 - 10-1000 ppm de CO
 - 100-10000 ppm gas combustible

- Excelente para detectar concentraciones de CO y gas combustible
- Buena sensibilidad al metano y propano
- Larga vida útil
- Es un producto eficiente y de baja inversión
- Tamaño: 40 x 20mm



Figura 14. Sensor de gas MQ-9

4.12.8 MQ-135

El MQ-135 es un sensor de calidad del aire que permite detectar algunos gases peligrosos como Amoniac, Dioxido de Nitrógeno, Alcohol, Benceno, Dioxido y Monoxido de carbono. El sensor puede detectar concentraciones de gas entre 10 y 1000 ppm y es de utilidad para detección de gases nocivos para la salud en la industria principalmente. Su velocidad de respuesta es bastante buena, por lo que puede activar cualquier dispositivo de manera oportuna. La presentación es en un módulo que puede conectarse a un microcontrolador muy fácilmente y se incluye la electrónica básica para realizar la interfaz con el sensor, disponemos de salidas del tipo analógica y digital.

El sensor MQ-135 es ideal para la detección de gas amoniaco, benceno y alcohol, aunque también es sensible al humo y a otros gases toxicos, por lo que puede utilizarse para diseñar dispositivos que alerten sobre la presencia de estos gases toxicos en el ambiente.

Características del MQ-135

- El sensor se alimenta con 5 volts
- Rango de detección de Amoniac: 10ppm-300ppm

- Rango de detección Benceno: 10ppm-1000ppm
- Rango de detección de Alcohol: 10ppm-300ppm
- Rápida velocidad de respuesta
- Estable y de larga vida
- Circuito de manejo simple, pudiendo conectarse a circuitos analógicos y digitales
- Comparador analógico incluido en el módulo para fácil activación de cargas o circuitos de control



Figura 15. Sensor de gas MQ-135

5 METODOLOGÍA

En la figura 16 se ilustra la representación del desarrollo de la nariz electrónica y cada una de las tareas llevadas a cabo para cumplir con los objetivos del proyecto. Donde el diseño es parte fundamental para el óptimo funcionamiento del dispositivo.

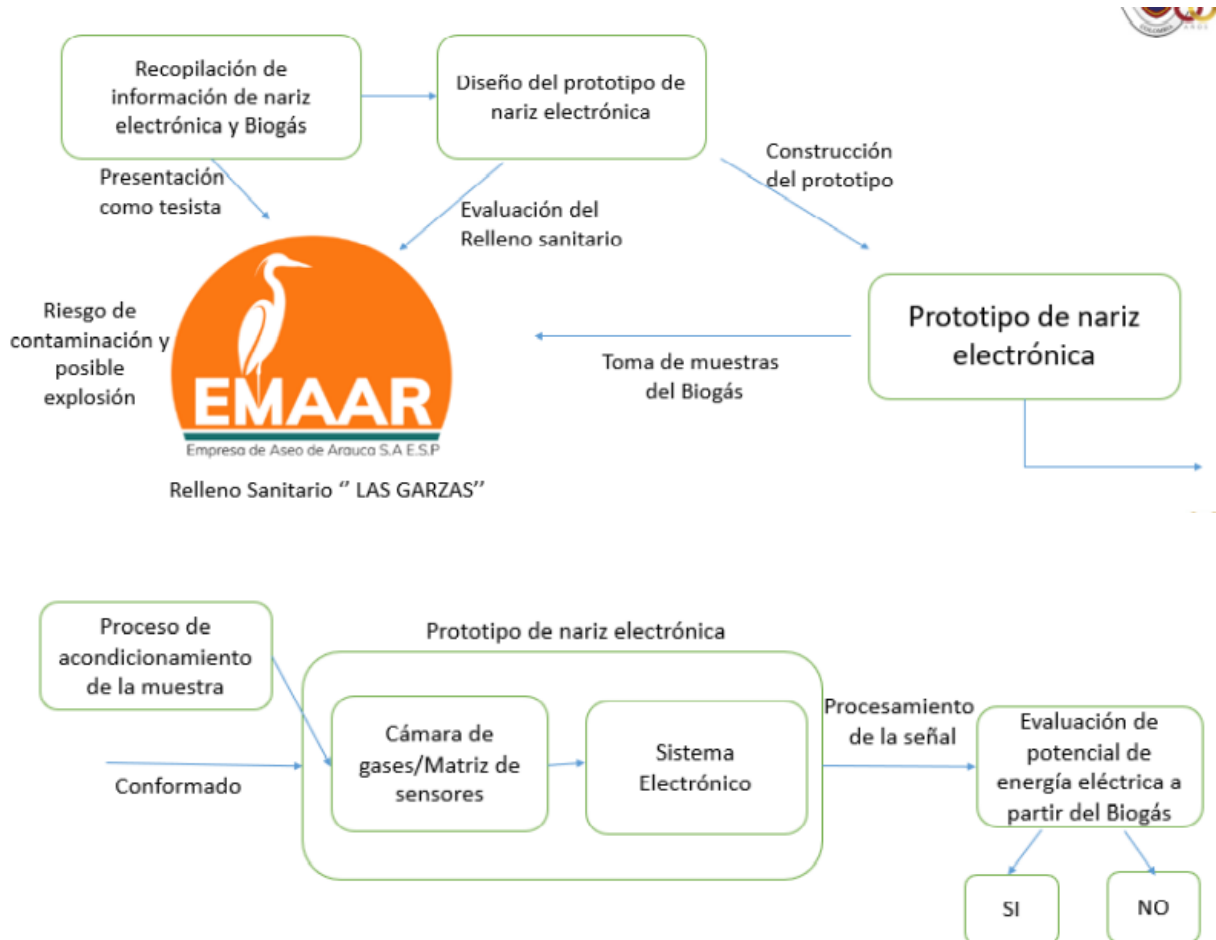


Figura 16. Metodología del proyecto

5.1 VARIABLES EN EL DISEÑO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA Y PARAMETROS DEL PROTOTIPO

- TEMPERATURA

En el diseño de la nariz electrónica es muy importante tener la medición de la variable de temperatura ya que esta puede afectar significativamente las adquisiciones de los volátiles que están alojados en la muestra. Se usó el sensor BMP180 el cual estará haciendo una medición continua de la cámara y con esto monitorear que los parámetros censados estén en un ambiente idóneo.

- BMP180

Este sensor cuenta con una resolución de 0.1 grados centígrados, lo cual lo hace muy preciso a la hora de monitorear la temperatura. También cuenta con una medición de presión barométrica la cual tiene un rango de medición de 300 – 1100hPa

- HUMEDAD

La humedad es una variable que puede afectar las mediciones, por esto se optó en realizar la cámara totalmente hermética y con eso disminuir en un rango muy alto la humedad atmosférica del sitio en el que se realizaron las adquisiciones.

- DIÓXIDO DE CARBONO, NITRÓGENO, OXIGENO, AMONIACO, HIDROGENO, MONÓXIDO DE CARBONO Y ARGÓN

Para la medición de estos compuestos se usaron los sensores de gas MQ. Los cuales tienen una alta sensibilidad y operan en los rangos de 10 y 10000 PPM, para tener mejores resultados estos sensores se deben de calibrar esperando un tiempo de calentamiento (Ver Figura 17) y ahí obtener la proporción que tiene la cámara donde se van a colocar las muestras de los rellenos sanitarios y así leerlos con un sistema embebido para posteriormente procesar los datos obtenidos.

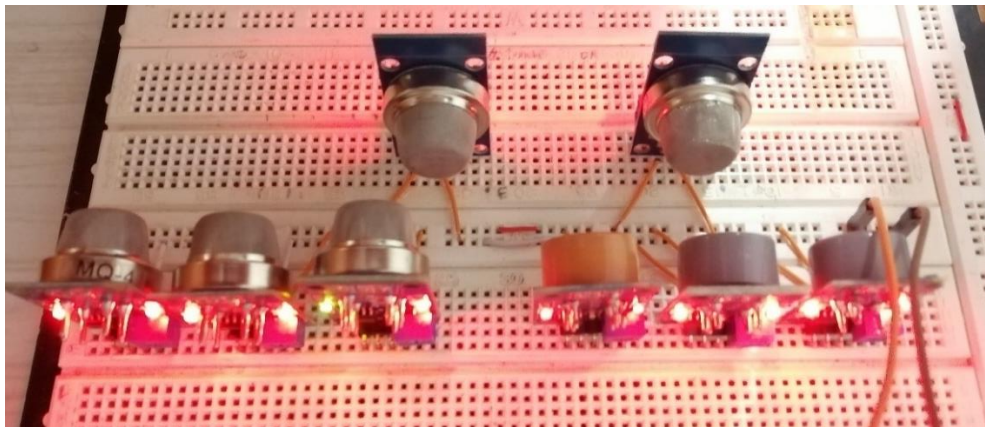


Figura 17. Sensores MQ, calentamiento de 24 horas

- ESTERILIZACIÓN DE LA CÁMARA

Es muy importante tener en cuenta esta variable, ya que se debe de tener descontaminada la cámara, porque se pueden obtener compuestos o volátiles que no estén asociados a las muestras de los rellenos sanitarios. Para esto se siguen unos estándares de esterilización y descontaminación muy rigurosos para no adulterar las adquisiciones de las muestras y así tener una data de mejor calidad, entre estos estándares tenemos:



Figura 18. Esterilización de la cámara

- 1. LIMPIEZA DEL MATERIAL:** El material de la nariz electrónica, se someterá a un ciclo de lavado y desinfección. En este proceso mecánico se elimina, por arrastre, la suciedad visible y materia orgánica de una superficie u objeto. La limpieza del material es el primer paso obligatorio antes de poner en funcionamiento cualquier método de esterilización, tiene como objetivo reducir el número de microorganismos y materia orgánica que pueda liberar algún compuesto o volátil adulterando las muestras del relleno sanitario. El prelavado o descontaminación es una de las principales tareas dentro de la limpieza de los equipos de medición la cual logra la disminución de la biocarga por arrastre sin manipulación alguna (Palanca Sánchez I (Dir.), 2011).



Figura 19. Limpieza del material

2. **ACTIVIDADES EN EL PUNTO DE USO:** Existen parámetros que deben de realizarse en el lugar donde se haya utilizado el material. Estas actividades contribuyen notablemente a la eficacia de la limpieza y descontaminación del material de la nariz electrónica (Palanca Sánchez I (Dir.), 2011).



Figura 20. Actividades en el punto de uso

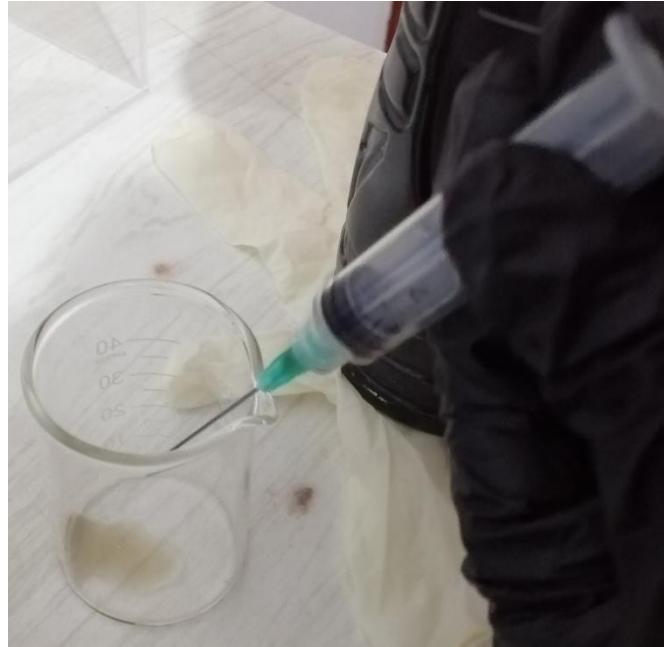


Figura 21. Actividades en el punto de uso 2

3. **SECADO:** Es un proceso muy importante después de haber realizado la limpieza. El secado correcto genera una eficiencia para la adquisición de muestras en la nariz electrónica, el exceso de humedad puede generar una baja concentración del agente esterilizante en esa zona e incluso en toda la cámara. Se requiere un meticuloso secado interno del material, realizándolo con calor seco o aire a presión (Palanca Sánchez I (Dir.), 2011).
4. **MUERTE POR CALOR:** El proceso de esterilización por calor, se realiza a presión y alta temperatura ya que es muy seguro, no tóxico y necesita un tiempo relativamente corto. Es utilizado en la mayoría de las cámaras sanitarias y puede ser controlado fácilmente, sus ventajas son: no ser corrosivo, poder inactivar pirógenos y precisar una limpieza sencilla a bajo costo (Palanca Sánchez I (Dir.), 2011).

5.2 DISEÑO CAD Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Para el diseño de la nariz electrónica se usó el software AUTODESK FUSION 360, en el cual se pueden diseñar piezas en 2D y 3D. Como herramienta fácil de manejo podemos exportar los archivos necesarios en formato DXF para preparar los cortes a laser y tener las piezas de la cámara. También se usó un software en el diseño electrónico (PROTEUS) que permite la creación de circuitos impresos utilizando la tecnología TH. Con esta herramienta se generan los Gerber para enviarlos a una CNC donde se usan váquelas en fibra de vidrio para un mejor desarrollo de la placa.

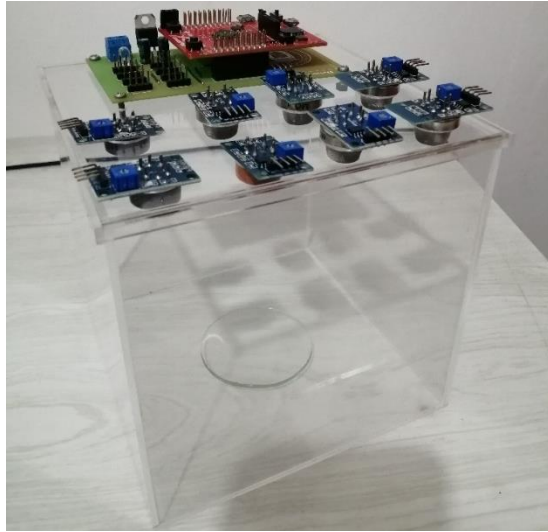


Figura 22. Prototipo de la nariz electrónica

5.2.1 DISEÑO CAD PRINCIPAL

Para la elaboración del diseño CAD se tuvieron en cuenta diferentes parámetros, los cuales son: unas medidas adecuadas para que las muestras puedan liberar sus compuestos y volátiles de forma en que no pierdan muchas PPM al momento de ser detectadas por los sensores de gas, estas medidas con de 15cm Ancho x 15cm Alto x 15cm Largo. En la figura 23 se puede observar el diseño de la cámara.

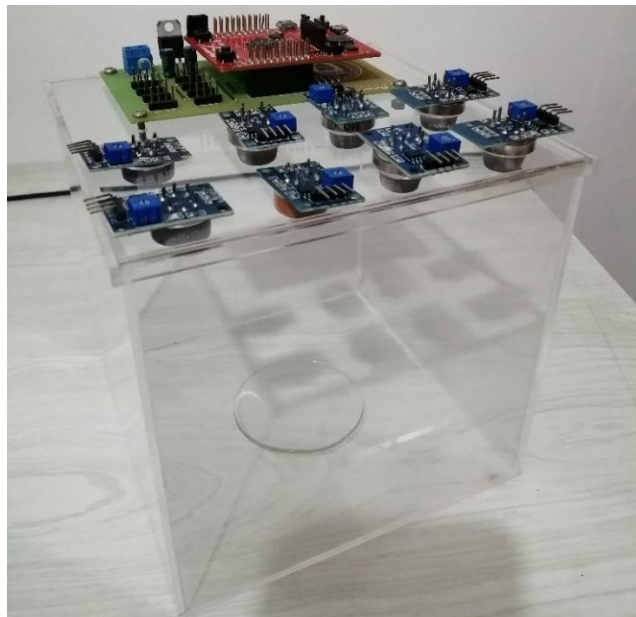


Figura 23. Diseño CAD de la cámara de gas

5.2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

Para el desarrollo de la nariz electrónica, fue necesario realizar el diseño de la PCB (ver Figura 24) ya que estas deben de ser implementadas de manera física, permitiendo las correctas conexiones y una robustez a diferencia de una placa de pruebas Protoboard. Estos circuitos impresos elaborados ofrecen mayores ventajas debido a su fiabilidad en las conexiones eléctricas, mejor inmunidad al ruido y facilidad en la detección de fallos.

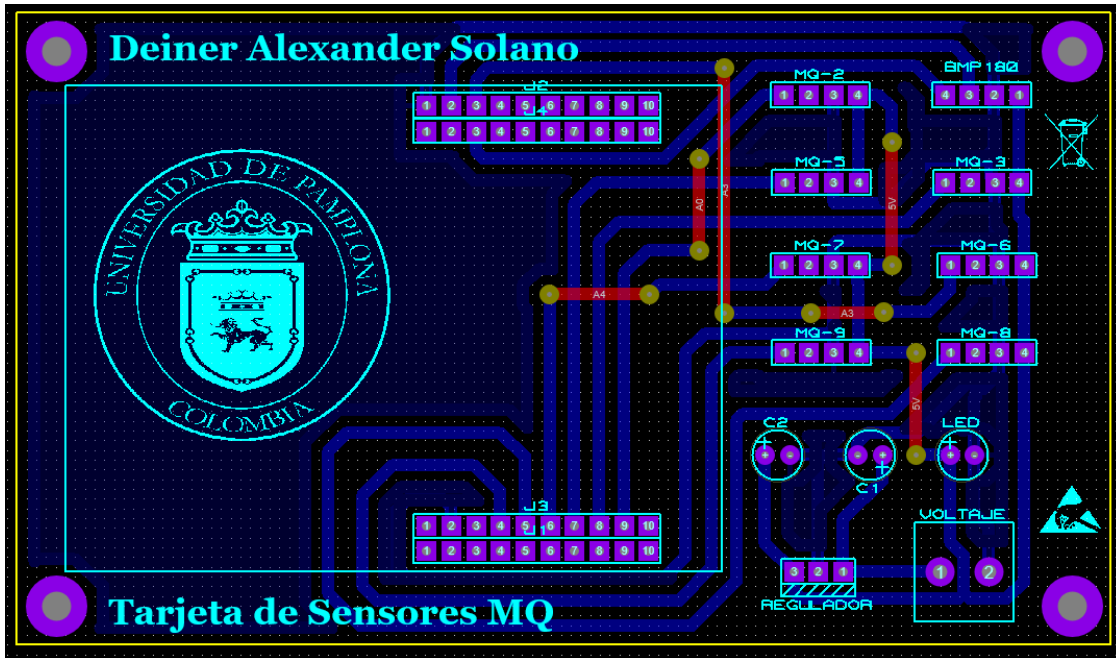


Figura 24. PCB Tarjeta de Sensores MQ

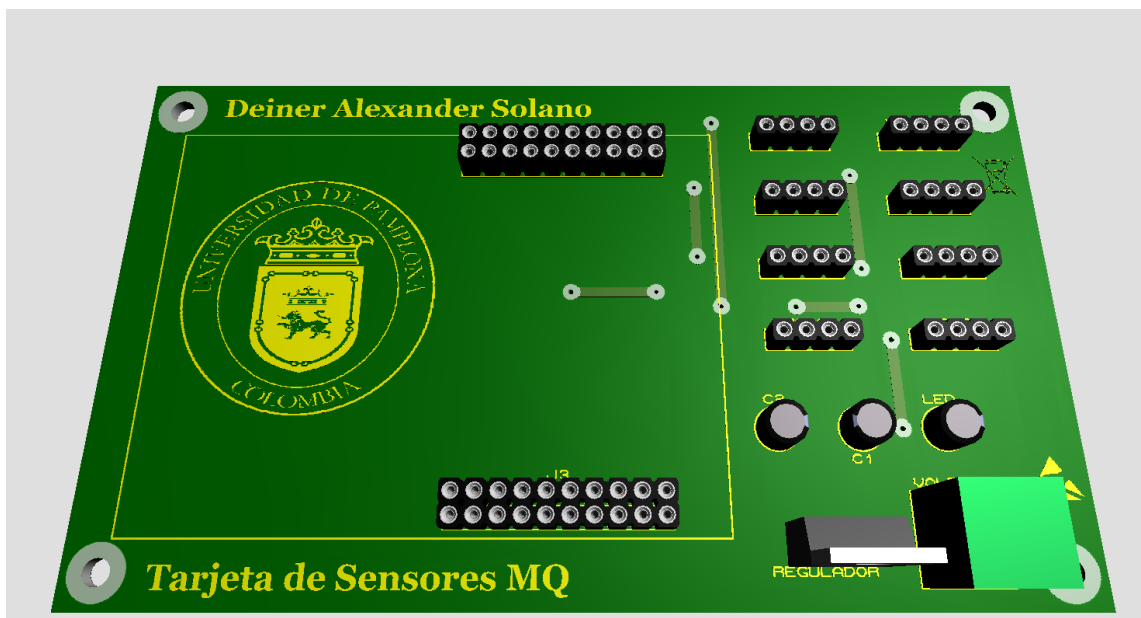


Figura 25. Diseño 3D de la Tarjeta de Sensores MQ

5.2.3 INSTRUMENTOS QUÍMICOS

- VASO PRECIPITADO

El vaso precipitado tiene una forma cilíndrica y posee un fondo plano. Se encuentran en diferentes capacidades y diferentes graduados. Son de vidrio y de plástico (cuando están hechos de vidrio se utiliza un tipo de material más resistente que el convencional denominado pyrex). En la Figura 26 se observa el vaso precipitado con la muestra del relleno sanitario las GARZAS. Este instrumento químico es sometido a estándares rígidos de esterilización y limpieza, para obtener una muestra más pura y libre de otros contaminantes que modifiquen el comportamiento de la data y los compuestos volátiles.

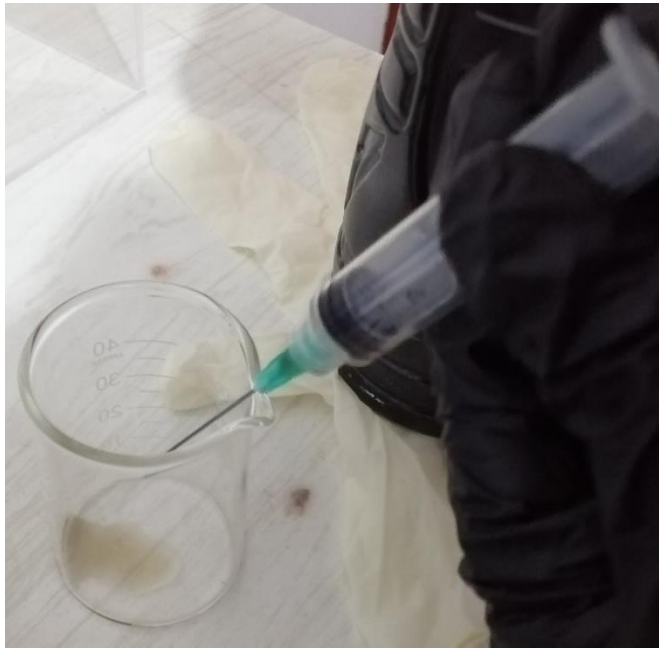


Figura 26. Vaso precipitado con la muestra del relleno sanitario las GARZAS

- GUANTES DE LÁTEX

Los guantes constituyen una medida de prevención primaria frente al riesgo biológico, reduciendo significativamente el riesgo de infecciones con agentes biológicos. Ya que la muestra del relleno sanitario está contaminada con materiales en descomposición y que están sometidos ambientes de sol y lluvia lo que aumenta la cantidad de bacterias, por eso es de suma importancia el uso del guante de látex ya que reducen la probabilidad de transmisión de microorganismo al personal que manipula la muestra.



Figura 27. Guantes de látex usados para manipular las muestras del relleno sanitario

5.3 ETAPA SENSORIAL

Para la nariz electrónica es muy importante tomar una muestra de algún tipo de aroma, líquida o muestra gaseosa para poder identificarla y/o cuantificarla. Esto significa que la nariz electrónica está constituida de diferentes partes: la matriz de sensores (Vea la Figura 28), el sistema electrónico que extrae los parámetros fundamentales de la señal proveniente del sensor, el sistema embebido que se conectara a un ordenador en el cual se llevara a cabo la identificación de compuestos y volátiles, usando técnicas de reconocimiento de patrones. Una nariz electrónica convencional existe 3 módulos, a saber: químico, electrónico y el software. La parte química es la que hace referencia al acondicionar la muestra que se tenga, en este caso del relleno sanitario las GARZAS. La parte electrónica es la que hace referencia al acondicionamiento de la señal eléctrica que se obtiene a partir de la salida de los sensores de gas MQ, y a la extracción de rasgos y características eléctricas que nos brindan cada uno de los sensores de la matriz (Moreno et al., 2009).

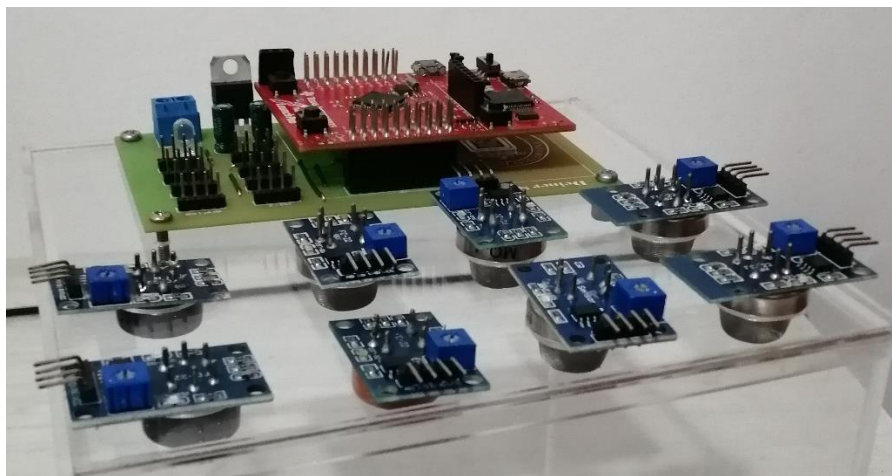


Figura 28. Matriz de sensores MQ

5.3.1 SENSORES DE GAS (MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9)

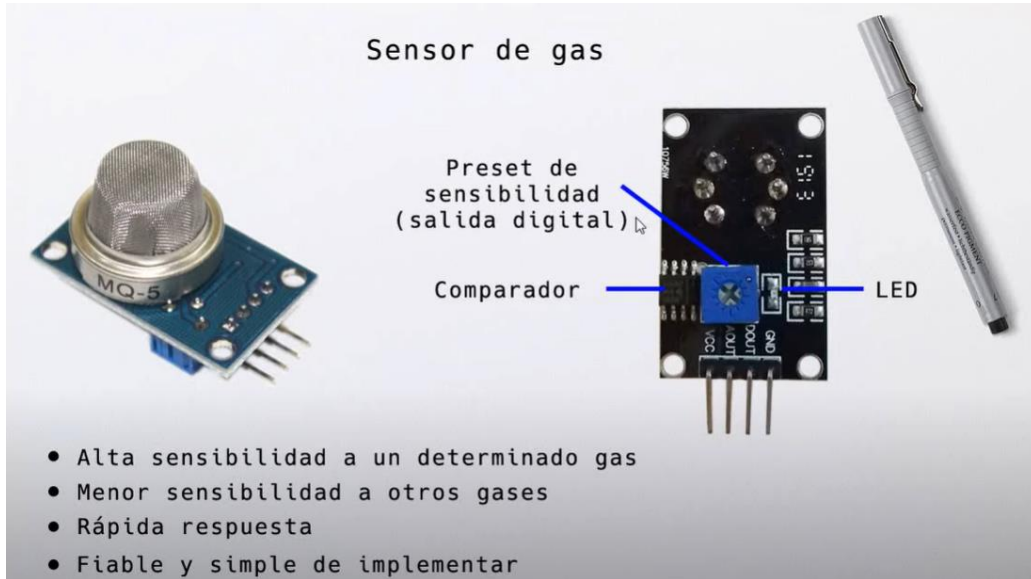


Figura 29. Sensor de gas MQ

Esta serie de sensores MQ son sensibles a diferentes compuestos y volátiles, los cuales necesitamos monitorear para adquirir su data y procesarla. Con estos datos procesados podemos obtener parámetros, que nos permiten detectar si el biogás que genera la muestra, del relleno sanitario es acta para generar un potencial eléctrico.

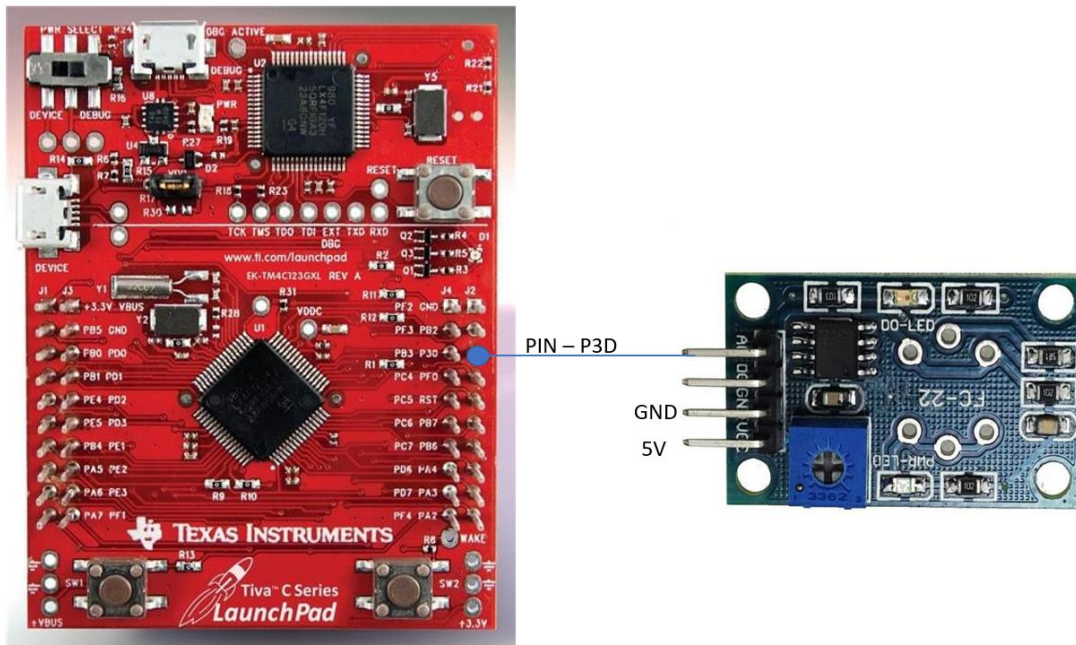


Figura 30. Esquema de conexión general para los módulos MQ

Tabla 3. Configuración de pines de los Módulos MQ

N° PIN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	VCC	Conexión 5V
2	GND	Conexión a tierra
3	DIGITAL OUT	Se puede obtener una salida digital de este pin, estableciendo un valor umbral usando el potenciómetro.
4	ANALOG OUT	Este pin genera un voltaje analógico de 0-5 V basado en la intensidad del gas.



Figura 31. Sensor de gas serie MQ

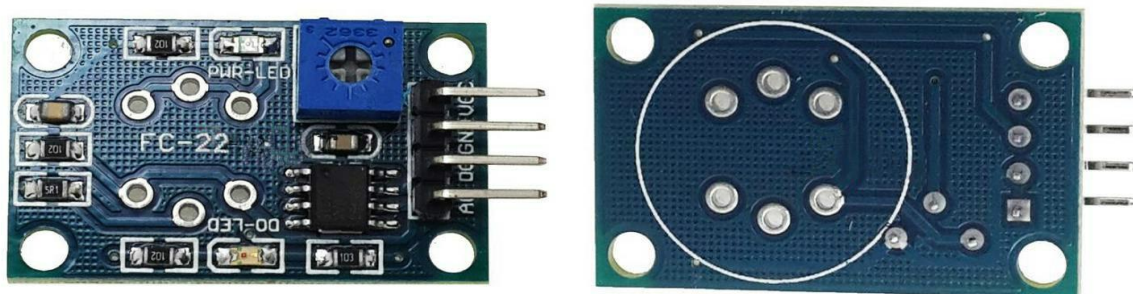


Figura 32. Tarjeta para sensores MQ

5.3.2 CÁLCULOS Y ECUACIONES PARA LA CALIBRACIÓN

Para la calibración de los sensores MQ, se deben de tener en cuenta un tiempo de calentamiento por primera vez de más o menos 24 horas y después de unos 20 a 25 minutos. También hay que tener en cuenta el circuito interno del módulo que es el siguiente (ver Figura 33).

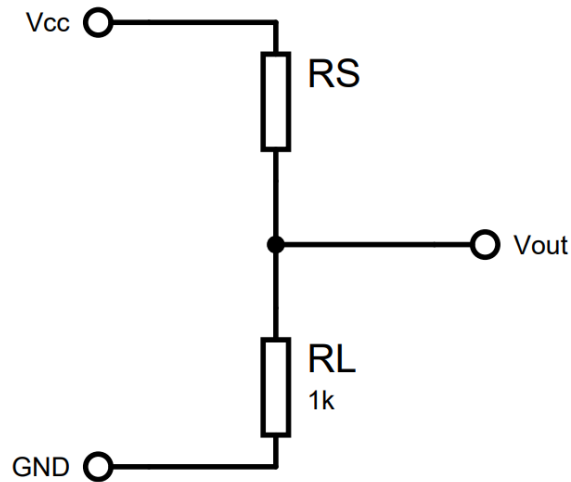


Figura 33. Esquema interno del módulo de la serie MQ

Donde:

RS = Resistencia del sensor que varía dependiendo de la concentración de gas.

RL = Resistencia de carga.

Vout = salida de voltaje por el pin análogo.

También encontramos en el datasheet R_0 la cual es la resistencia del sensor en una concentración conocida.

La fórmula para encontrar la proporción es la siguiente:

$$Ratio = \frac{R_s}{R_0} \quad (1)$$

El primer paso en la calibración es hacer un divisor de voltaje en la configuración de RS y RL para hallar RS que es el valor de la resistencia del sensor.

$$\frac{R_s}{R_l} = \frac{V - V_s}{V_s} \quad (2)$$

$$R_s = \left[\frac{V - V_s}{V_s} \right] * R_l \quad (3)$$

Ahora obtenemos la gráfica (ver Figura 34) de uno de los sensores para saber cuál será su proporción en el aire ambiente.

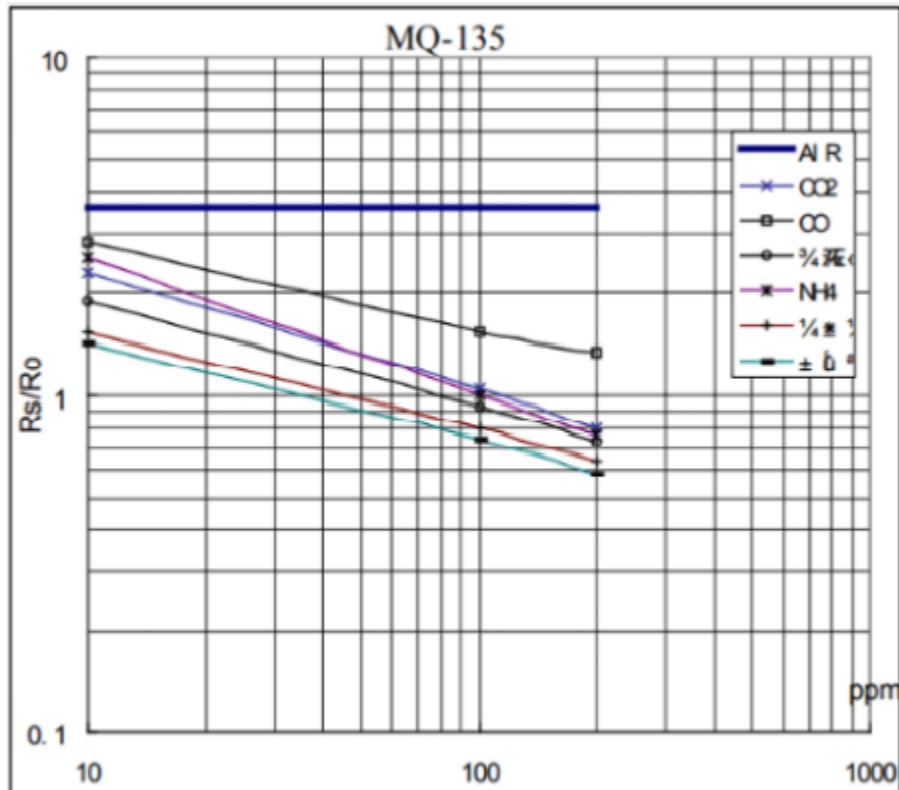


Figura 34. Curva del sensor MQ

$$\frac{R_s}{R_o} = 3,75 \quad (4)$$

Usando el sistema embebido (TIVA TM4C123G) conectamos el sensor para obtener el voltaje de salida que proviene del pin analógico, procedemos a realizar los cálculos de R_o usando las siguientes formulas:

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

Despejamos R_o :

$$R_o = \frac{R_s}{Ratio} \quad (6)$$

Donde calculamos R_s con la siguiente formula:

$$R_s = \left[\frac{V - V_s}{V_s} \right] R_I \quad (7)$$

Después de obtener R_0 podemos calcular las PPM basados en la gráfica del datasheet. Tomando de base el gas CO_2 hallamos la pendiente para tener una calibración efectiva, los dos puntos de referencia provienen de la recta logarítmica de la gráfica del sensor MQ-135:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (8)$$

Los puntos tomados de la gráfica son: (100 1, 1) y (200 0, 8). Donde los valores 100 y 200 pertenecen a una recta logarítmica por lo tanto los puntos quedan:

$$(2 \ 1, 1) \text{ y } (2,3 \ 0,8) \quad (9)$$

Reemplazando en la formula (8) obtenemos:

$$m = \frac{0,8 - 1,1}{2,3 - 2} \quad (10)$$

$$m = -0.997 \quad (11)$$

Con estos valores se pueden encontrar las PPM del sensor MQ usando un punto de referencia que proviene de la gráfica y la pendiente despejando la fórmula de la siguiente manera:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (11)$$

$$x_2 - x_1 = \frac{y_2 - y_1}{m} \quad (12)$$

$$x_2 = \left[\frac{y_2 - y_1}{m} \right] + x_1 \quad (13)$$

Donde la variable x_2 representa el valor en partes por millón del sensor MQ y y_2 muestra una relación de proporción hallada con la fórmula:

$$Ratio = \frac{R_s}{R_o} \quad (14)$$

Recordando que el resultado debe de estar en la coordenada logarítmica el valor de x2 se debe de colocar en potencia de 10.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizo una tabla donde se muestran los valores de Rs_ratio, R0, RS/R0 de cada sensor.

Valores adquiridos de la calibración de los sensores MQ

Variables	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5
Voltaje Sensor	0.27	0.31	0.38	0.25	0.22
Rs_ratio	25.23	14.53	11.76	14.86	19.48
R0	0.360Kohm	0.235Kohm	1.755Kohm	1.36Kohm	0.674Kohm
RS/R0	70.05	61.67	6.7	10.87	28.9

5.3.3 BPM180

Este sensor nos permite medir la presión barométrica y presión atmosférica con una gran precisión, es un dispositivo electrónico muy comercial lo que permite adquirirlo de forma sencilla para aplicaciones de consumo. Teniendo en cuenta que los grados de temperatura influyen en la medición y precisión del sensor, este incluye también una medición de temperatura con una resolución de 0,1 °C.

Tabla 4. Configuración de pines del sensor BMP180

PIN	DESCRIPCIÓN
VCC	Conexión 3.3V
GND	Tierra
SDA	Pin de datos serial I2C
SCL	Pin de reloj serial I2C

El sensor cuenta con una comunicación I2C para la conexión a la TIVA, para realizar esto es necesario descargar una librería que nos facilita la adquisición de los datos. En la siguiente figura 35 se muestra el esquema de conexiones del sensor y el sistema embebido usado para la nariz electrónica.

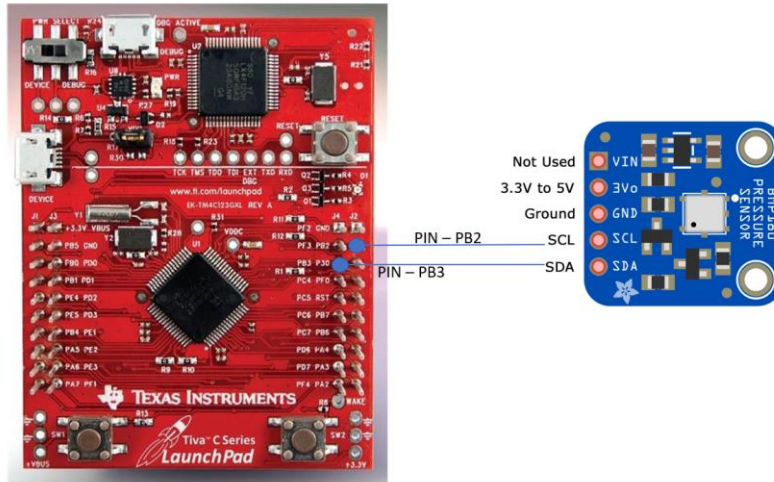


Figura 35. Esquema de conexiones de la TIVA y el sensor BMP180

5.4 ADQUISICIÓN DE LOS DATOS Y SU VISUALIZACIÓN

Esta sección describe el conjunto de dispositivos que permiten la adquisición de los compuestos, volátiles y su procesamiento con el fin de evaluar, si se puede generar potencial eléctrico a partir del biogás, generado por las muestras tomadas en el relleno sanitario las GARZAS. La TIVA en un sistema embebido encargado de adquirir los datos en tiempo real a través de Python para proyectar las gráficas de los gases.

Para la gestión de terminales, pines de entrada – salida de la TIVA, se implementó un algoritmo basado en C con librerías que permiten el uso correcto de los módulos y la conexión con el lenguaje de programación Python. Con el fin de adquirir los datos de los sensores a la TIVA, se implementó un código que permite realizar una comunicación serial con el equipo de cómputo el cual almacena en un vector (Ver Figura 36) diferente tipo de gas obtenido por los sensores MQ para su posterior procesamiento. Algunos de los compuestos que se obtienen del vector se pueden observar en la siguiente Figura 37.

Para el sistema de adquisición se utilizaron unas librerías muy importantes en Python las cuales fueron:

NUMPY: Es una librería de Python especializada en el calculo numérico y el análisis de datos, especialmente para un gran volumen de datos. Incorpora arrays que permite representar colecciones de datos de un mismo tipo en varias dimensiones, y funciones muy eficientes para su manipulación.

MATPLOTLIB: Permite crear y personalizar los tipos de gráficos mas comunes, entre ellos – Diagramas de barras, histogramas, diagramas de sectores, diagramas de violín, diagramas de líneas, diagramas de áreas, diagramas de contorno etc.

SERIAL: Es una librería que nos permite realizar una conexión con el puerto serial para leer los datos que se están generando desde la cámara de gas.

TIME: Es una librería que nos permite manejar tiempos para la toma de datos, en este caso la toma de datos es en intervalos de 1 minuto. Hasta completar las 300 muestras que equivalen a 5 horas.

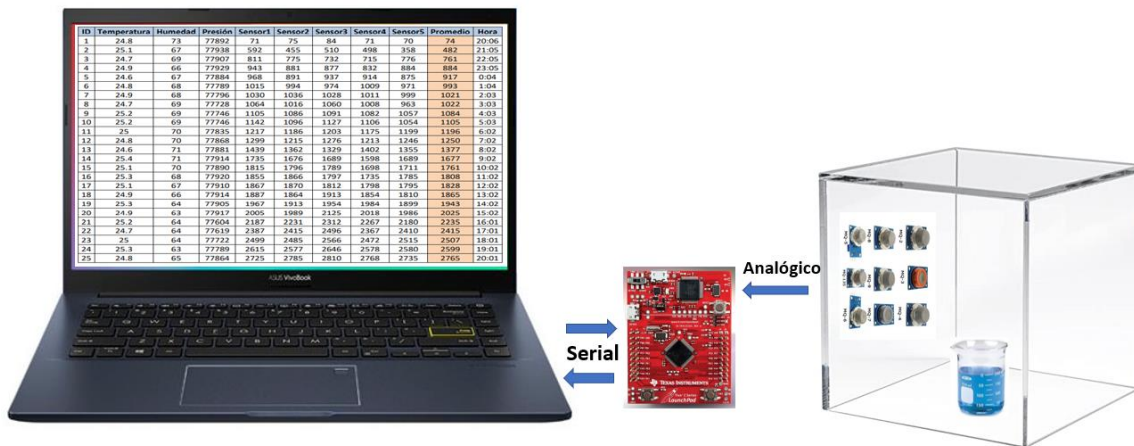


Figura 36. Sistema de adquisición de la nariz electrónica

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
32	33	33	34	31	33	33	34	35	35	44	36	35	38	38
185	189	123	118	118	114	113	124	119	113	122	133	123	127	123
177863	209468	231891	397162	321246	348454	445577	451383	538357	865668	1.07174e+06	925782	895521	1.49976e+06	1.0214e+06
225	222	226	228	218	224	228	228	231	229	284	237	228	231	232
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 37. Vectores adquiridos de los sensores MQ

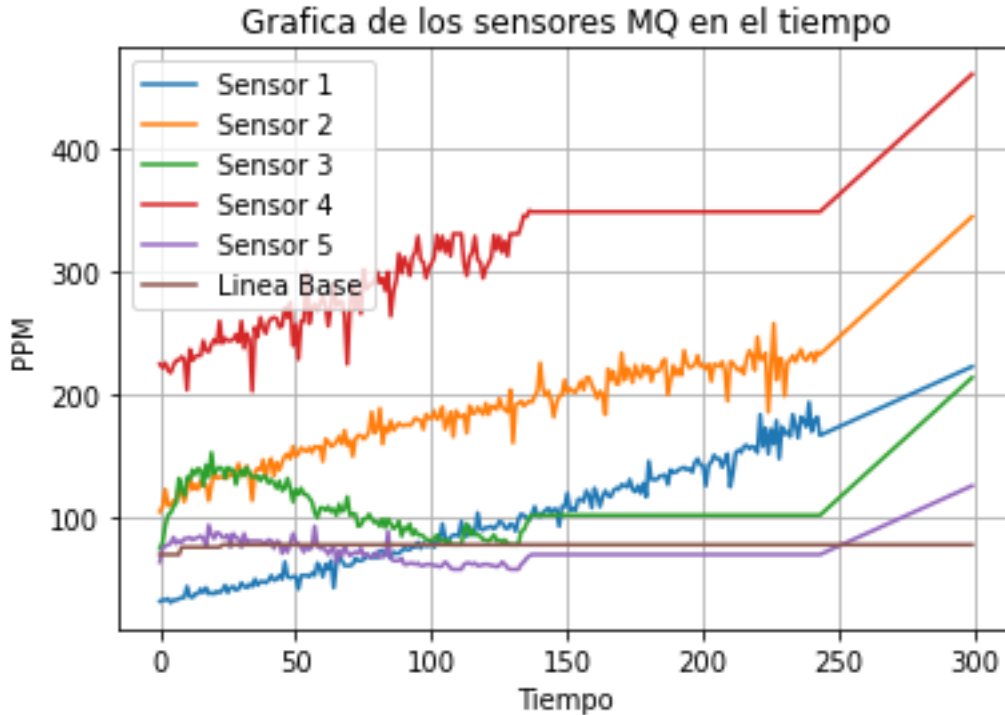


Figura 38. Grafica de los vectores adquiridos de los sensores MQ y línea base

El vector obtenido pertenece a los gases del lixiviado, luego de obtener todas las muestras necesarias, se estructura una matriz que está compuesta por 5 señales para determinar la morfología y la estructura de los datos adquiridos. Estos permitirán analizar si el rango de los compuestos generados por el biogás es lo suficientemente alto para generar algún índice de energía en combinación de un sistema que funcione con gas.

5.5 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE LOS COMPUESTOS VOLATILES

El proceso para adquirir los compuestos consiste en registrar en un periodo de tiempo los gases liberados por la muestra del relleno sanitario las GARZAS, para poder tener los vectores del biogás. Se consideran unos estándares de limpieza y esterilización antes de realizar la toma de las señales los cuales son: limpieza del material, actividades en el punto de uso, secado y muerte por calor (Ver Figura), luego de esto se ingresa la muestra a la nariz electrónica con el fin de que libere todos los compuestos y volátiles en una cámara donde se van a censar todos estos gases a través de una matriz de sensores MQ que están alojados de forma paralela a la muestra. La duración total de las adquisiciones es de 5 horas para darle tiempo suficiente a los sensores de captar todos esos gases liberados desde el vaso precipitado donde se encuentra una porción del líquido.

Es importante resaltar que un buen manejo de la nariz electrónica y la muestra son fundamentales para obtener resultados de calidad. Una vez terminada la primera adquisición se repite este proceso 3 veces para obtener diferentes vectores y realizar un análisis más

profundo si los compuestos liberados pueden generar una mínima cantidad de potencial eléctrico que sirva para proyectos futuros de tipo ambiental.

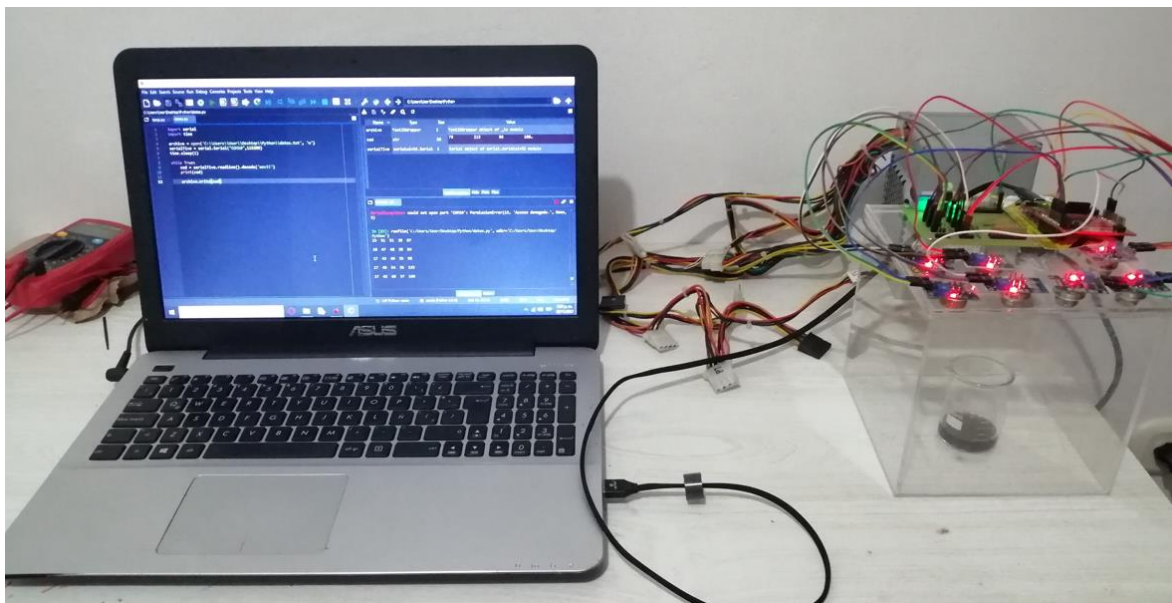


Figura 39. Adquisición de los gases del lixiviado

6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la etapa de análisis de resultados se tiene en cuenta cada uno de los objetivos de este estudio. A continuación, se lleva a cabo la forma del análisis de estudio.

6.1 IMPLEMENTACIÓN DE DISEÑOS

Para el desarrollo de la nariz electrónica, fue necesario el diseño de circuitos impresos ya que las etapas necesitaban ser implementadas de manera física y así obtener las variables de la cámara, permitiendo las correctas conexiones y la robustez a diferencia de una placa de pruebas Protoboard.

Los diseños de circuitos impresos elaborados y ensamblados en PCB ofrecen mayores ventajas, debido a su fiabilidad en las conexiones eléctricas, mejor inmunidad al ruido, efectos inductivos y facilidad de detección de fallos, posibilidad de fabricarlas en grandes cantidades, mejor distribución de espacio y conexiones.

Para el diseño de los esquemas del circuito impreso fue necesario usar un Software de diseño electrónico PROTEUS VERSIÓN DE PRUEBA, por su facilidad de implementación y por su alto número de librerías de componentes y que tiene prestaciones profesionales.

6.1.1 ESQUEMA ELECTRÓNICO DE LAS CONEXIONES DE LA TIVA TM4C123G

El esquema diseñado (ver Figura 40) contiene 4 regletas, cada una con los respectivos pines necesarios para su funcionamiento. Solo se utilizaron las entradas analógicas ya que estas brindan una lectura muy eficaz al momento de capturar los datos de los sensores MQ, para el sensor BMP180 fue necesario usar los pines que internamente cuentan con el SDA y el SCL para la transmisión de los datos de temperatura y presión barométrica de la cámara en la cual se encuentra la muestra del relleno sanitario las GARZAS.

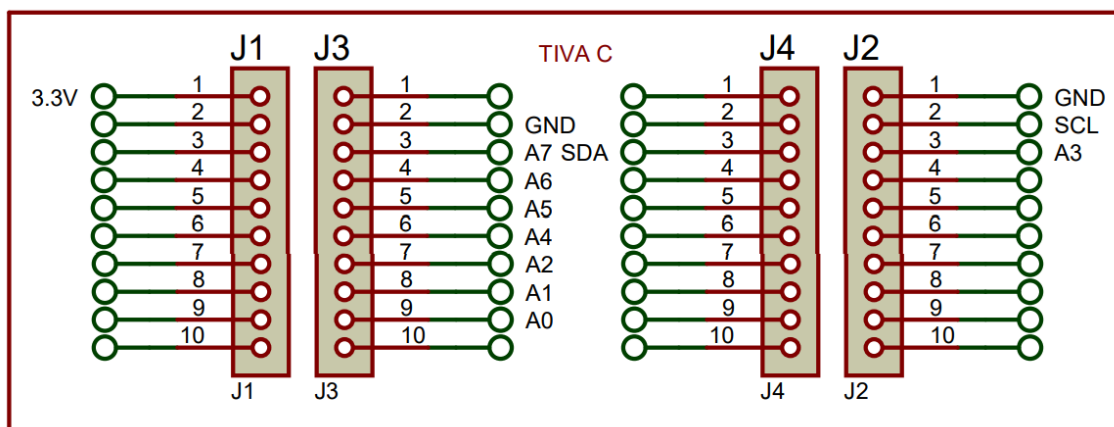


Figura 40. Esquema de conexiones de la TIVA TM4C123G

6.1.2 ESQUEMA DE CONEXIONES DE LOS SENSORES MQ

Para esta etapa se implementaron 7 regletas de 4 pines (Ver Figura 41), las cuales están conectadas con la TIVA TM4C123G, para su respectiva adquisición analógica. Estos componentes son de montaje TH. Los sensores están alimentados a 5V para su correcto funcionamiento.

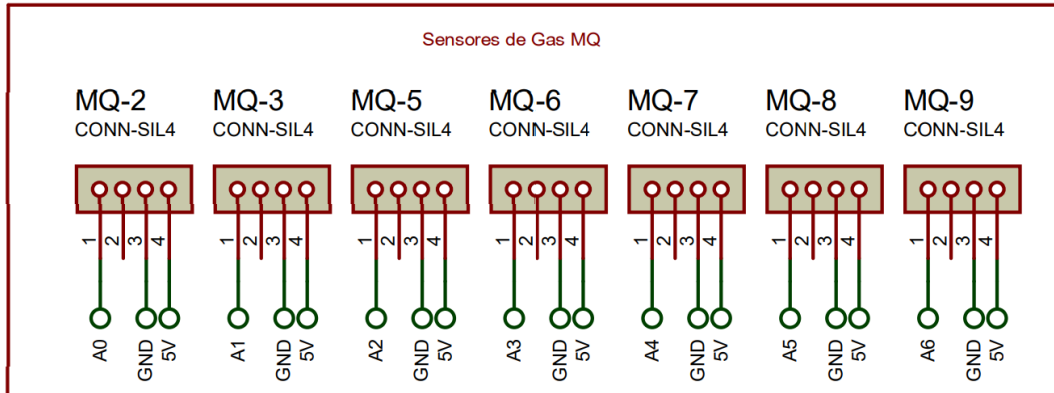


Figura 41. Esquema de conexiones de los sensores MQ

6.1.3 ESQUEMA DE LA FUENTE DE VOLTAJE

Este circuito es muy importante ya que es el encargado de suministrar la corriente eléctrica y el voltaje necesario para que los sensores MQ estén en óptimas condiciones de funcionamiento. Se implementó un regulador LM7805 ya que este permite pasar de 12V en DC a 5V DC, también se le añadieron los capacitores recomendados por el fabricante para tener un voltaje más lineal y estable a la hora de conectar una fuente de poder o batería externa.

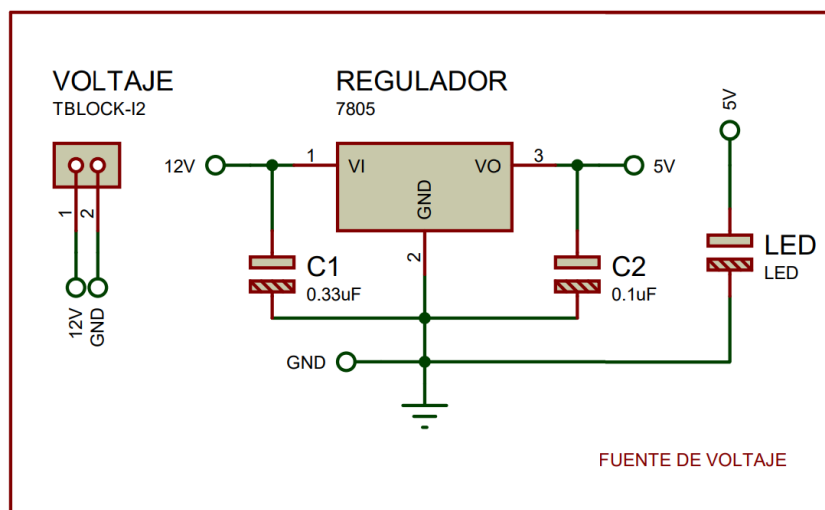


Figura 42. Esquema de la fuente de voltaje con regulador LM7805

6.1.4 CIRCUITO IMPRESO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA

La nariz electrónica está conformada por diferentes etapas, las cuales se adecuaron en una sola PCB (Ver Figura 43), para ahorrar espacio en el dispositivo desarrollado y para tener un esquema de conexiones más organizados para los sensores que se necesiten.

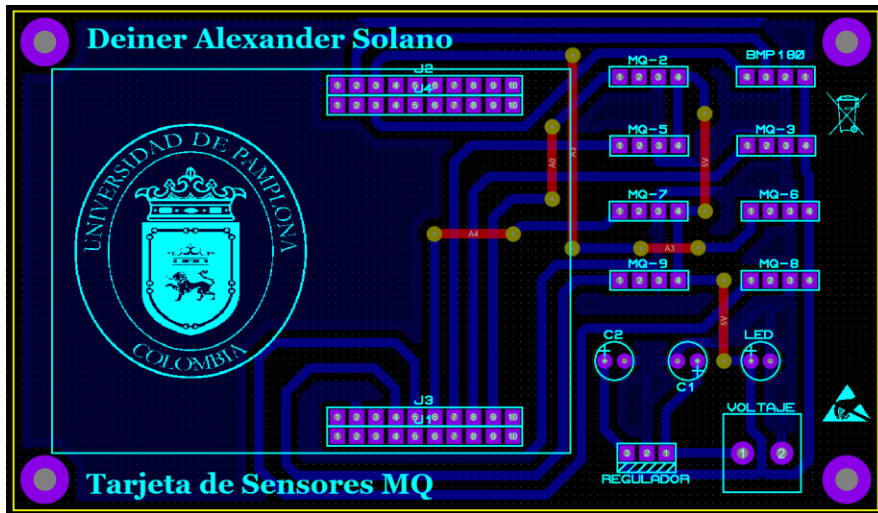


Figura 43. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista 2D

Se implementa en la misma tarjeta electrónica el esquema de alimentación, ya que este maneja voltajes y corrientes muy pequeñas las cuales no adulteran las señales obtenidas por los sensores MQ y el BMP180. Se añade la serigrafía para tener unos cuidados como lo son: no tocar la PCB con las manos a menos de que se posea una manilla antiestática para proteger los componentes del circuito, el logo de no botar a la basura ya que estos desperdicios no son amigables con el medio ambiente y requieren un tratamiento diferente para reciclarlos, la serigrafía también lleva el nombre del autor de la nariz electrónica y el logo de la Universidad de Pamplona.

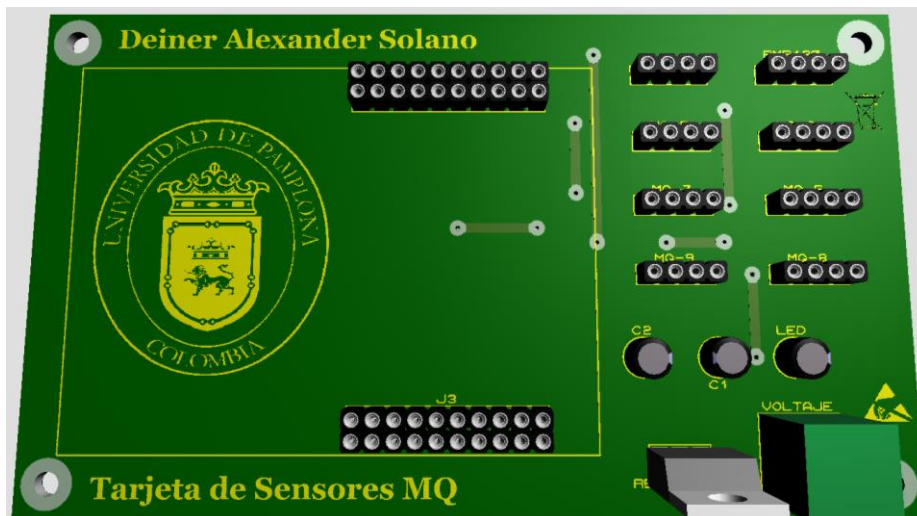


Figura 44. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista 3D

El diseño en vista real del circuito impreso (Ver Figura 45), se realizó con los mejores estándares de calidad que permiten un mejor funcionamiento y un visto profesional. Esta placa tiene anti-solder y serigrafía para identificar la ubicación correcta de los componentes.

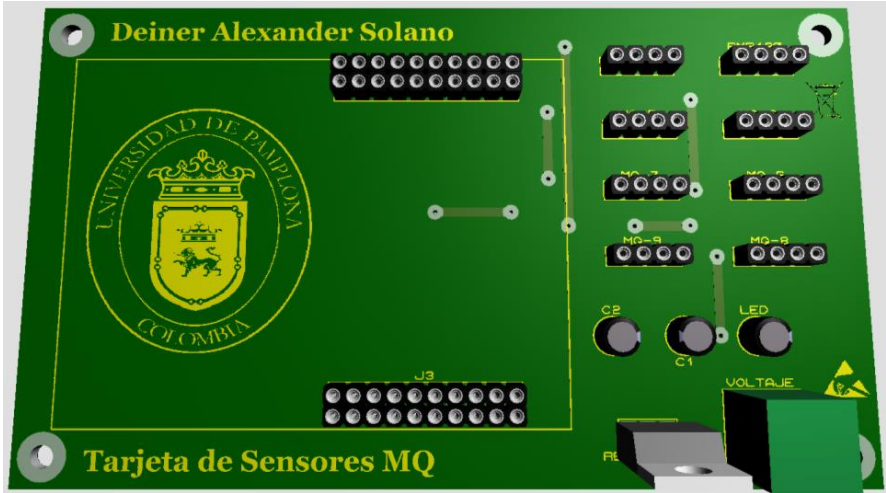


Figura 45. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista 3D

El diseño en vista real del circuito impreso (Ver Figura 46), se realizó con los mejores estándares de calidad que permiten un mejor funcionamiento y un visto profesional. Esta placa tiene anti-solder y serigrafía para identificar la ubicación correcta de los componentes.



Figura 46. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista real

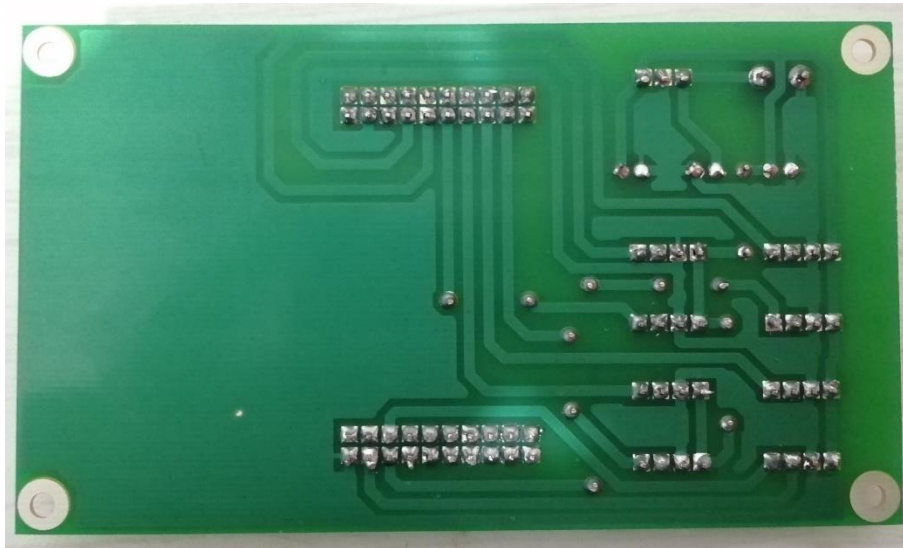


Figura 47. Circuito electrónico de la nariz parte trasera

6.2 PROTOTIPO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA

La nariz electrónica está conformada por las diferentes etapas mencionadas anteriormente, con el fin de formar un sistema con las prestaciones deseadas al momento de capturar los compuestos y volátiles. El diseño de la cámara está basado en acrílico, el cual fue sometido a estándares rigurosos de limpieza para no adulterar las muestras que estén allí dentro. En la figura 48 se observa la nariz electrónica donde se pueden identificar los elementos que la componen.



Figura 48. Nariz electrónica diseño CAD

En la figura 49 se puede observar la vista real de la nariz electrónica y de cómo se implementaron las etapas: Matriz de sensores, diseño de circuito impreso, cámara en acrílico y su conexión con un equipo de cómputo para su procesamiento.

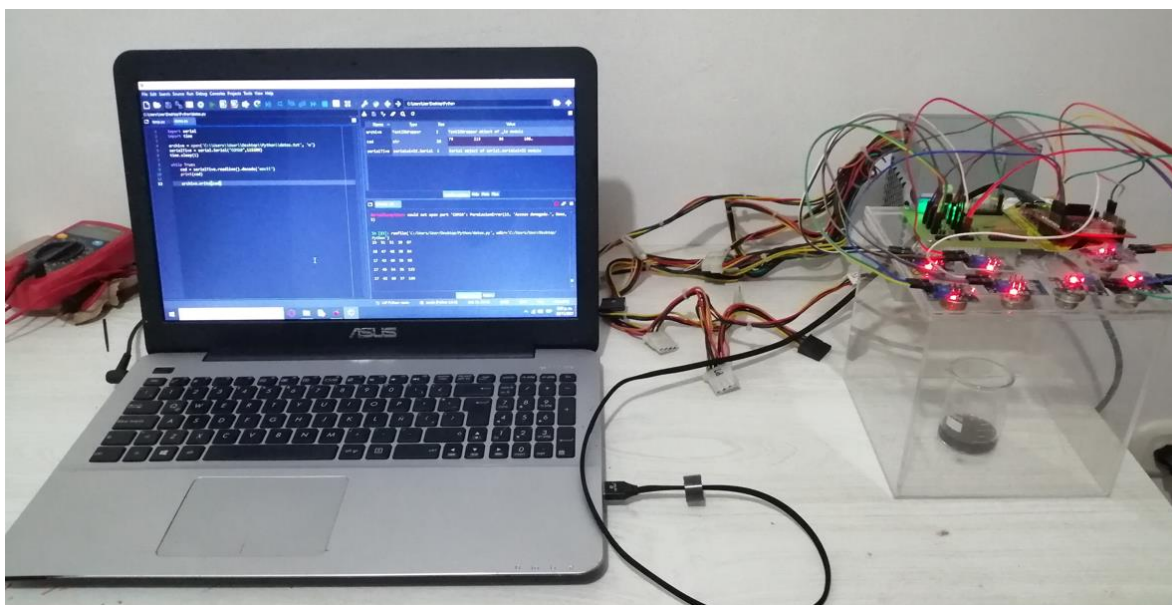


Figura 49. Nariz electrónica conectada a un equipo de cómputo

6.2.1 COMPONENTES USADOS PARA EL DESARROLLO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA

Componentes				
Sensor	Tipo de gas que detecta	Modulo	Compra Online	Precio
MQ-2	Metano, Butano, Humo, Gas Licuado de Petroleo (LPG).	X	SI	20.000 \$
MQ-3	Alcohol, Etanol, Humo	X	SI	20.000 \$
MQ-5	Gas Natural y Gas Licuado de Petroleo (LPG).	X	SI	20.000 \$
MQ-6	Butano y Gas Licuado de Petroleo (LPG).	X	SI	20.000 \$
MQ-7	Monóxido de Carbono.	X	SI	20.000 \$
MQ-8	Gas de Hidrogeno	X	SI	20.000 \$

MQ-9	Monóxido de Carbono y Gases inflamables	X	SI	20.000 \$
			Total:	140.000 \$

La tabla refleja los sensores de gas usados en la nariz electrónica, estos se compraron en tiendas online las cuales manejaban precios muy asequibles para este tipo de proyectos. A continuación, se describen el resto de los componentes que se usaron para construir la nariz electrónica.

Componentes	Descripción	Precio
PCB (anti-solder y serigrafía)	La PCB se realizó en el software Proteus y se mandó a imprimir en una empresa que cumpliera con los requisitos necesarios para un trabajo profesional. La empresa fue Col circuitos	150.000 \$
Acrílico	Se optó por comprar acrílico traslucido que permitiera ver las reacciones y muestras dentro de la cámara de gas.	50.000\$
Corte laser	Se hacen los cortes laser al acrílico para ensamblar la nariz electrónica con las medidas de 15x15x15.	45.000 \$
Fuente de poder	Es una fuente de computador que mantiene unos índices de voltaje y corrientes muy estables para el proyecto que se maneja. Se consiguió una de buena calidad.	45.000 \$
Electrónica y más.	En estos componentes encontramos, el regulador LM7805, capacitores, borneras, cables hembra – hembra, estaño, cautín, cable para puentear, led a chorro y regletas macho.	70.000 \$
	Total:	360.000 \$

6.3 FUNCIONAMIENTO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA

Para realizar las pruebas de adquisición de los componentes del biogás, se preparó una muestra de 10ml del relleno sanitario en un vaso precipitado esterilizado para que salgan los diferentes compuestos y volátiles para que la matriz de sensores MQ los detecte.



Figura 50. Preparación de la muestra del relleno sanitario

Para que la nariz electrónica detecte todos los compuestos liberados por la muestra, se procede a sellar la cámara (Ver Figura 51) para que quede totalmente hermética y así los gases no se escapen, una vez se encienda la matriz de sensores MQ, se habilita la comunicación serial de la TIVA TM4C123G para que transmita los datos al computador y se guarden en un vector para cada sensor, estos datos se guardan a través de una conexión con Python ya que este permite adquirir la data en tiempo real y almacenarlos en el mismo dispositivo y así procesarlos.

Muestra	Cantidad	Volumen de la cámara
Lixiviado	5 ml	3.375 cm(cúbicos)

En la tabla se evidencia la cantidad de lixiviado utilizado en la cámara, esta muestra se vierte en un vaso precipitado de 50 ml. Se procura no usar tanto lixiviado ya que este tiene altos índices de concentración de gases que pueden saturar rápidamente los sensores MQ. El tiempo de muestreo para capturas los gases liberados es de 5 horas y cada minuto se hacía un respectivo refresco para obtener los valores en el tiempo, dando un vector de 300 datos.

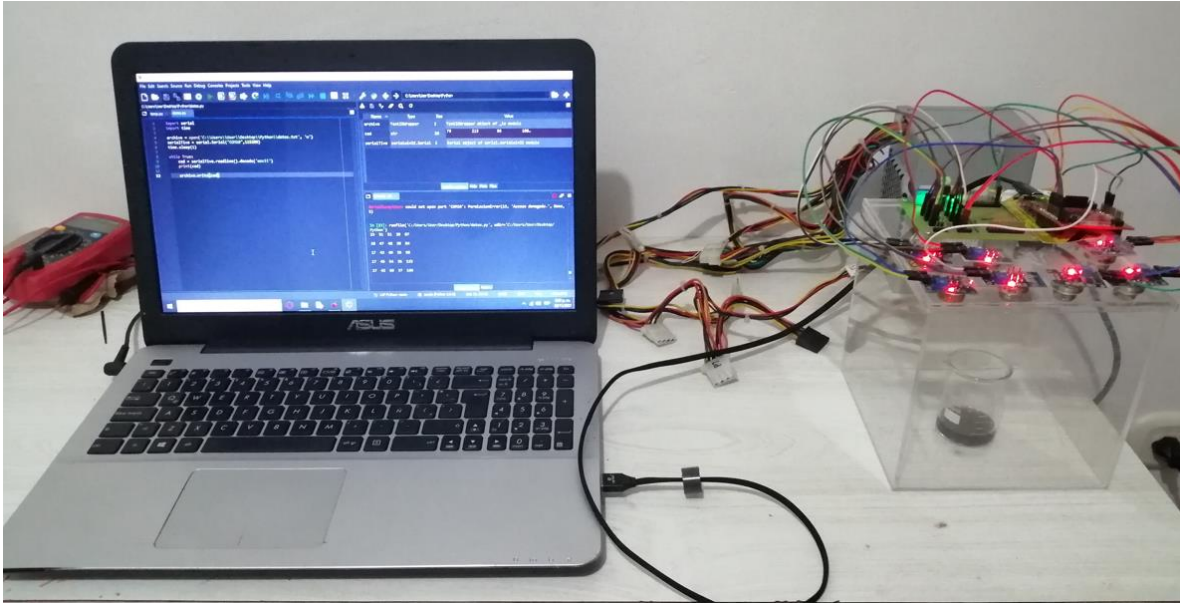


Figura 51. Nariz electrónica funcionando

6.4 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BIOGÁS GENERADO EN LOS RELLENOS SANITARIOS

La nariz electrónica está diseñada para capturar los tipos de gases generados por el lixiviado, que proviene del relleno sanitario las GARZAS. Esto nos permite tener unos parámetros apropiados en el cálculo de las partes por millón. Para obtener unos datos correctos se proceden a tomar dos puntos de la curva, con estos dos puntos se forma una línea que es aproximadamente equivalente a la curva original, el formato de los datos es: {x, y, pendiente}; punto 1: (Log10(200), 0.72), punto 2: (Log10(10000), 0.15).

Para el sensor MQ-2 se toman los dos puntos para formar la línea que es aproximadamente equivalente a la curva para reemplazarla en el algoritmo. Con el fin de obtener las PPM que corresponden al gas censado por el MQ. Tenemos la curva característica de sensibilidad del sensor MQ (Ver Figura 52) original donde se muestran los gases que este puede censar, tomamos los puntos que están en rojo y los reemplazamos en las siguientes ecuaciones:

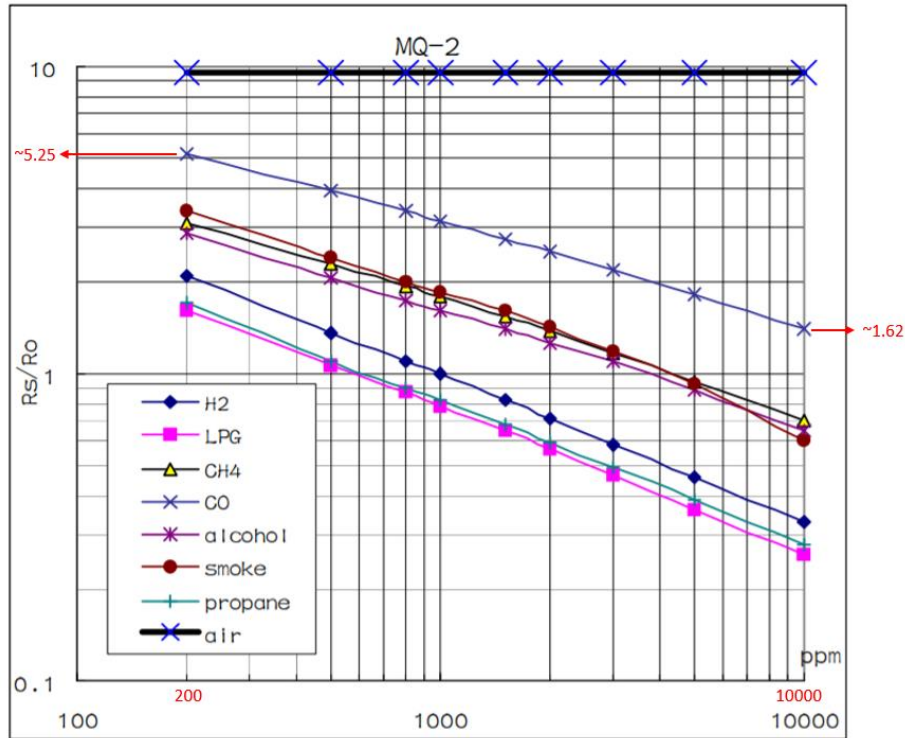


Figura 52. Curva característica de sensibilidad MQ-2

$$y1 = 5.25, \quad y2 = 1.62 \quad x1 = 200 \quad x2 = 10000 \quad (15)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(1.62) - \log_{10}(5.25)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.30 \quad (16)$$

$$CO2(Curva) = \{2.3, 0.720, -0.30\} \quad (17)$$

El valor del CO2 (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

Tabla 5. Gases sensados por el MQ-2

Sensor MQ-2	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS LPG (PPM)	32	120	167
GAS CO2 (PPM)	105	202	233

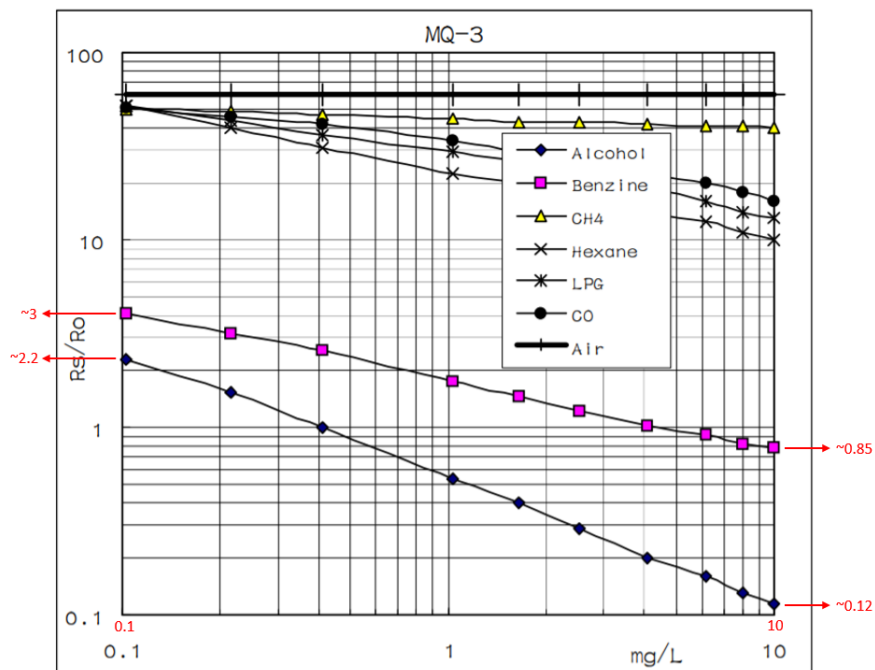


Figura 53. Curva característica de sensibilidad MQ-3

$$y1 = 3, \quad y2 = 0.85 \quad x1 = 0.1 \quad x2 = 10 \quad (18)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.85) - \log_{10}(3)}{\log_{10}(10) - \log_{10}(0.1)} = -0.27 \quad (19)$$

$$Benzine(Curva) = \{-1, 0.47, -0.27\} \quad (20)$$

El valor del Benzine (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

$$y1 = 2.2, \quad y2 = 0.12 \quad x1 = 0.1 \quad x2 = 10 \quad (21)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.12) - \log_{10}(2.2)}{\log_{10}(10) - \log_{10}(0.1)} = -0.63 \quad (22)$$

$$Alcohol(Curva) = \{2.3, 0.720, -0.30\} \quad (23)$$

El valor del Alcohol (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

Tabla 6. Gases sensados por el MQ-3

Sensor MQ-3	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS BENZINE (PPM)	110	209	227
GAS ALCOHOL (PPM)	113	219	234

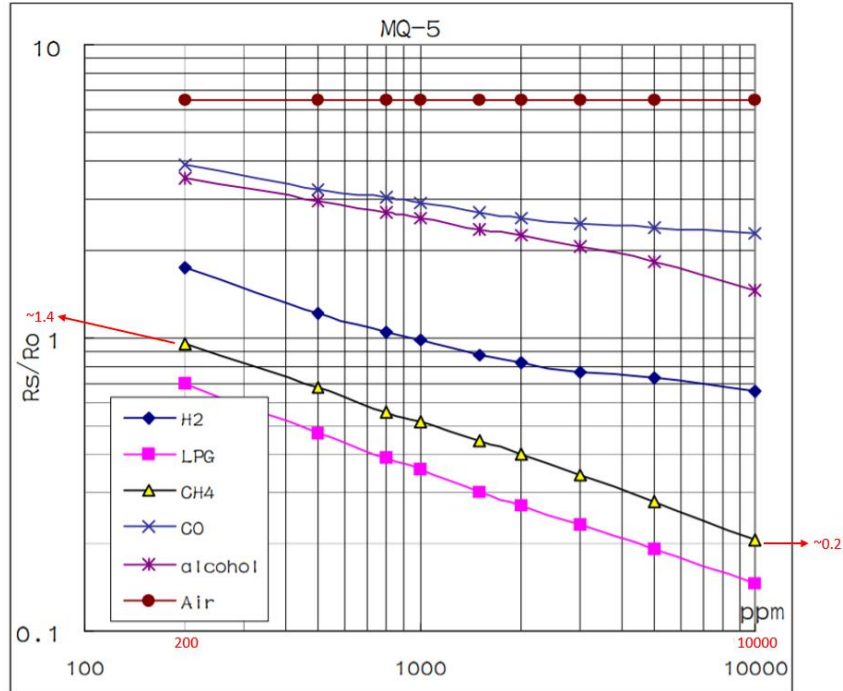


Figura 54. Curva característica de sensibilidad MQ-5

$$y1 = 1.4, \quad y2 = 0.2 \quad x1 = 200 \quad x2 = 10000 \quad (24)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.2) - \log_{10}(1.4)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.49 \quad (25)$$

$$CH4 - Metano (Curva) = \{2.3, 0.14, -0.49\} \quad (26)$$

El valor del CH4-Metano (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

Tabla 7. Gases sentidos por el MQ-5

Sensor MQ-5	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS CH4 (PPM)	177	231	445

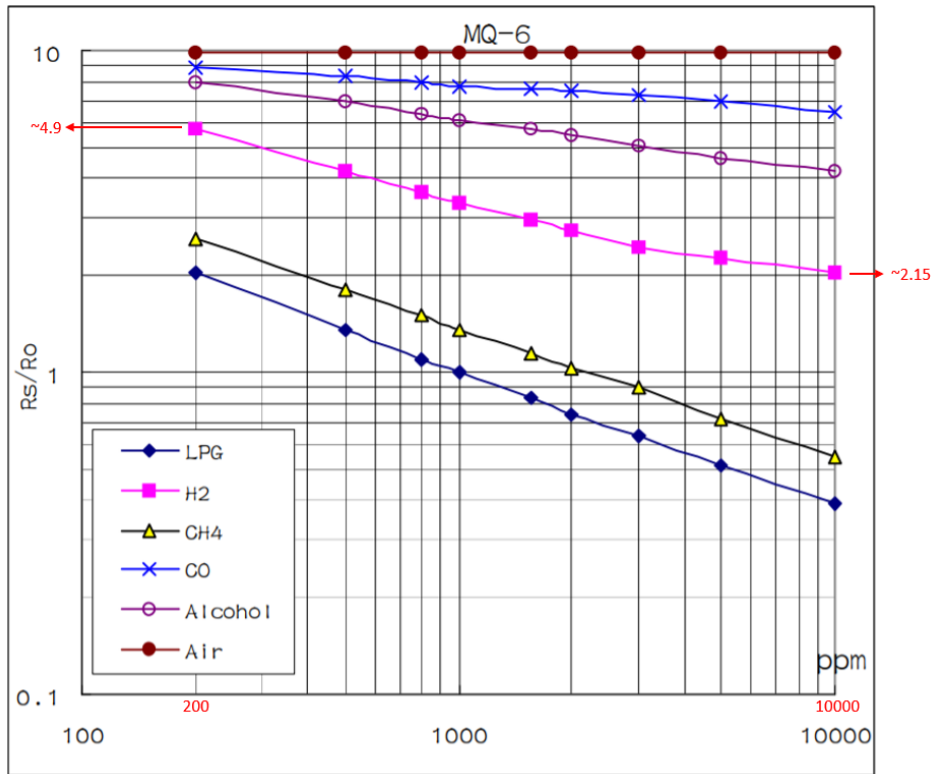


Figura 55. Curva característica de sensibilidad MQ-6

$$y_1 = 4.9, \quad y_2 = 2.15 \quad x_1 = 200 \quad x_2 = 10000 \quad (27)$$

$$\text{Curva Equivalente} = \frac{\log_{10}(2.15) - \log_{10}(4.9)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.21 \quad (28)$$

$$H2 - \text{Hidrogeno (Curva)} = \{2.3, 0.69, -0.21\} \quad (29)$$

El valor del H2-Hidrogeno (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

Tabla 8. Gases sensados por el MQ-6

Sensor MQ-6	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS H2 (PPM)	225	365	527

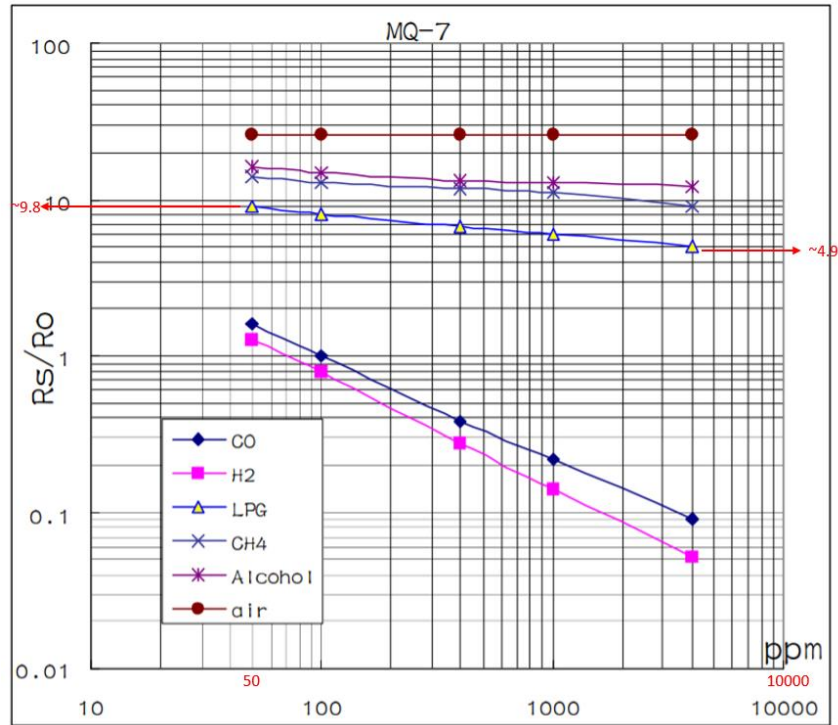


Figura 56. Curva característica de sensibilidad MQ-7

$$y_1 = 9.8, \quad y_2 = 4.9 \quad x_1 = 50 \quad x_2 = 10000 \quad (30)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(4.9) - \log_{10}(9.8)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(50)} = -0.13 \quad (31)$$

$$LPG(Curva) = \{1.69, 0.95, -0.13\} \quad (32)$$

El valor del LPG (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

Tabla 9. Gases sensados por el MQ-7

Sensor MQ-7	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS LPG (PPM)	0	0	0

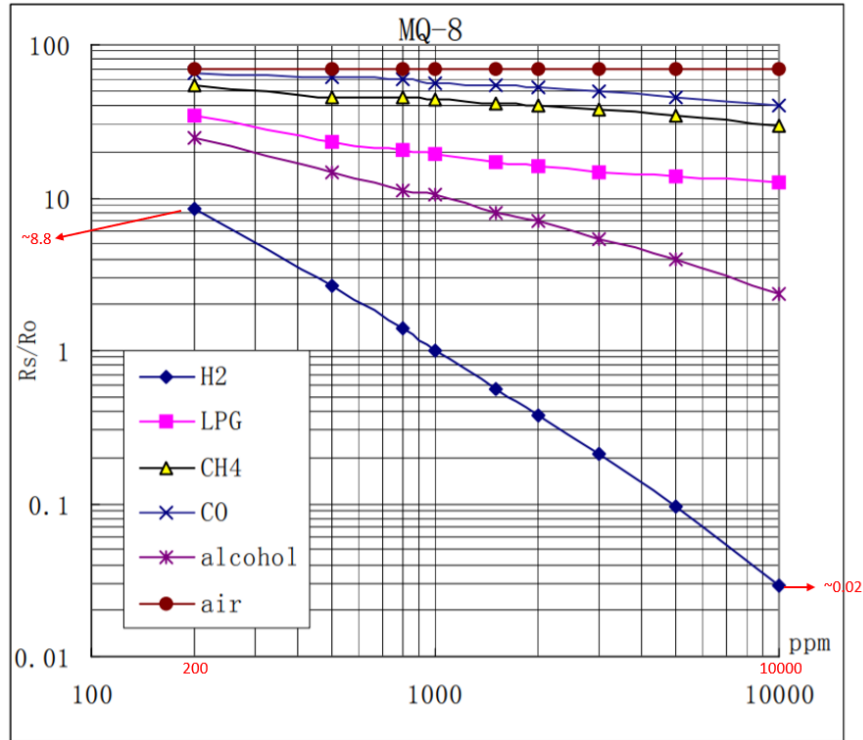


Figura 57. Curva característica de sensibilidad MQ-8

$$y_1 = 8.8, \quad y_2 = 0.02 \quad x_1 = 200 \quad x_2 = 10000 \quad (33)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.02) - \log_{10}(8.8)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -1.55 \quad (34)$$

$$H2 - Hidrogeno(Curva) = \{2.3, 0.944, -1.55\} \quad (35)$$

El valor del H2-Hidrogeno (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

Tabla 10. Gases sensados por el MQ-8

Sensor MQ-8	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS H2 (PPM)	34	118	182

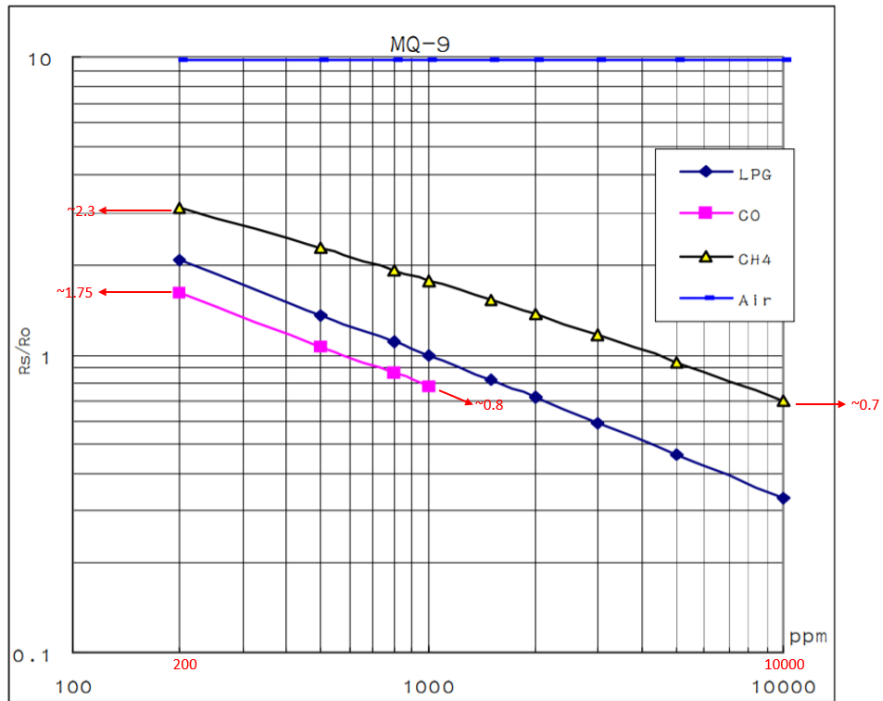


Figura 58. Curva característica de sensibilidad MQ-9

$$y1 = 1.75, \quad y2 = 0.8 \quad x1 = 200 \quad x2 = 10000 \quad (36)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.82) - \log_{10}(1.75)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.48 \quad (37)$$

$$CO(Curva) = \{2.3, 0.24, -0.48\} \quad ()$$

El valor del CO (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

$$y1 = 2.3, \quad y2 = 0.7 \quad x1 = 200 \quad x2 = 10000 \quad (38)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.7) - \log_{10}(2.3)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.30 \quad (39)$$

$$CH4 - Metano(Curva) = \{2.3, 0.36, -0.30\} \quad (40)$$

El valor del CH4-Metano (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

Tabla 11. Gases sensados por el MQ-9

Sensor MQ-9	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS CO (PPM)	118	215	316
GAS CH4 (PPM)	109	196	233

6.5 BÚSQUEDA DE PRODUCCIÓN ENERGÉTICA A PARTIR DEL BIOGÁS GENERADO DEL RELLENO SANITARIO LAS GARZAS

Después de sensar el lixiviado del relleno sanitario por 5 horas, se procede a graficar las PPM con respecto al tiempo para tener las características que nos puedan ayudar a determinar si el rango de los compuestos es suficiente para generar producción eléctrica a partir del biogás con máquinas especiales.

Los compuestos se graficaron usando el lenguaje de programación Python ya que este permite obtener el vector donde está la data procesarla y luego graficarla según sea necesario.

El sensor más sensible se puede evidenciar en la figura 62 ya que este cuenta con una medición de gas metano que es el compuesto más concentrado en la muestra del lixiviado. Este llega a niveles muy altos de medición.

Para la recuperación de la cámara se procedió a sacar la muestra y realizar de nuevo el proceso de esterilización ya que no se cuenta con algún dispositivo mecánico como un ventilador que expulse todas las partículas alojadas en ella. Esto conlleva a que después de la limpieza se deja la cámara en un mismo punto durante 1 hora para que vuelva a su estado original. Cuando pasa este tiempo se vuelve a realizar la calibración de los sensores y se procede a capturar los gases liberados por el lixiviado. En la nariz electrónica se colocaron diferentes sensores MQ pero al final solo se colocaron los que mejores resultados arrojaron ya que los otros mostraban valores muy intermitentes, la cantidad de sensores graficados es de 5.

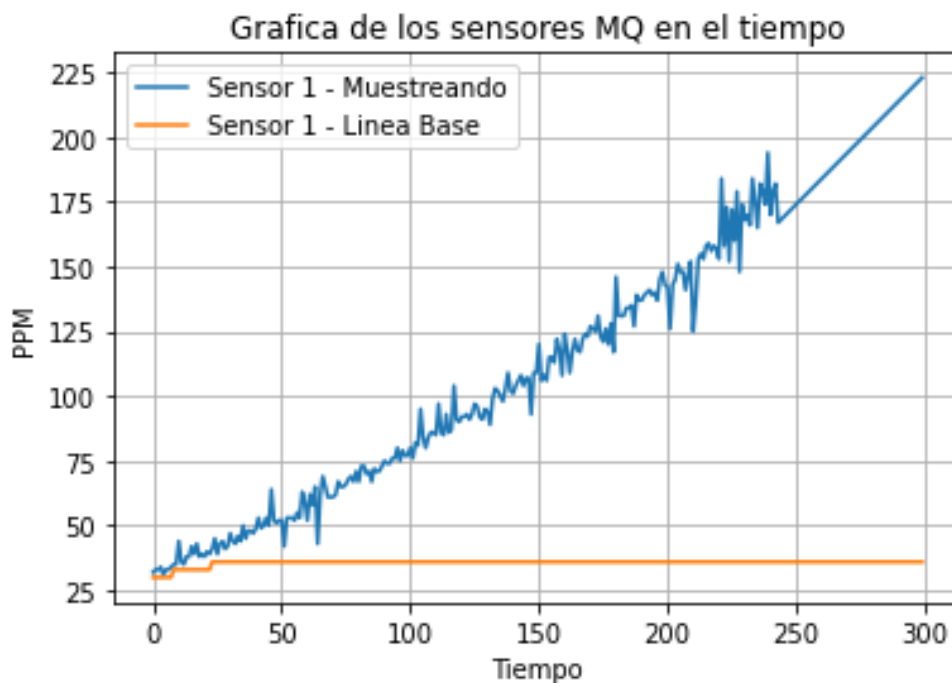


Figura 59. Medición del sensor 1 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-3)

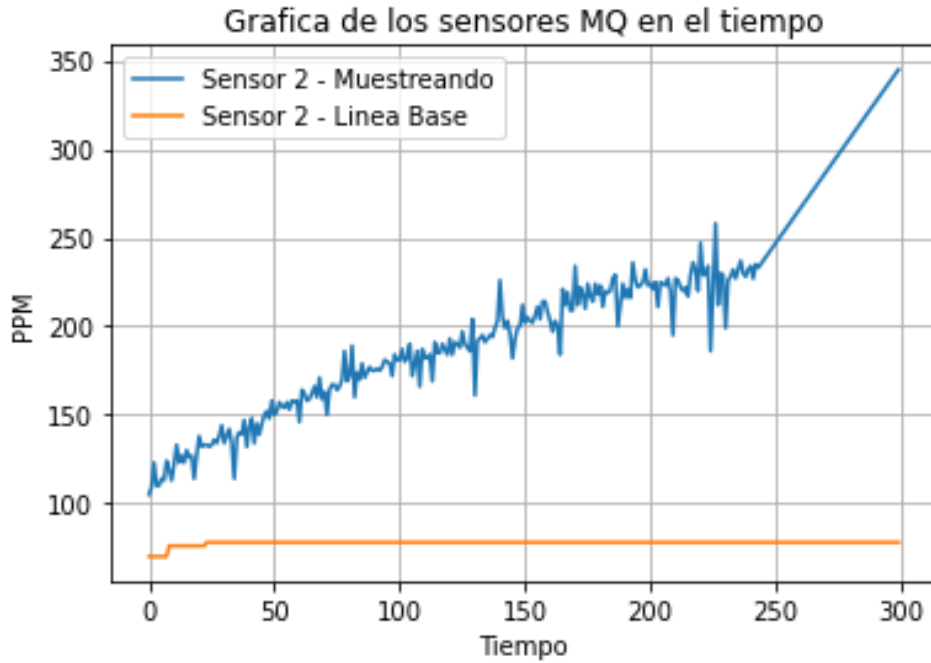


Figura 60. Medición del sensor 2 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-6)

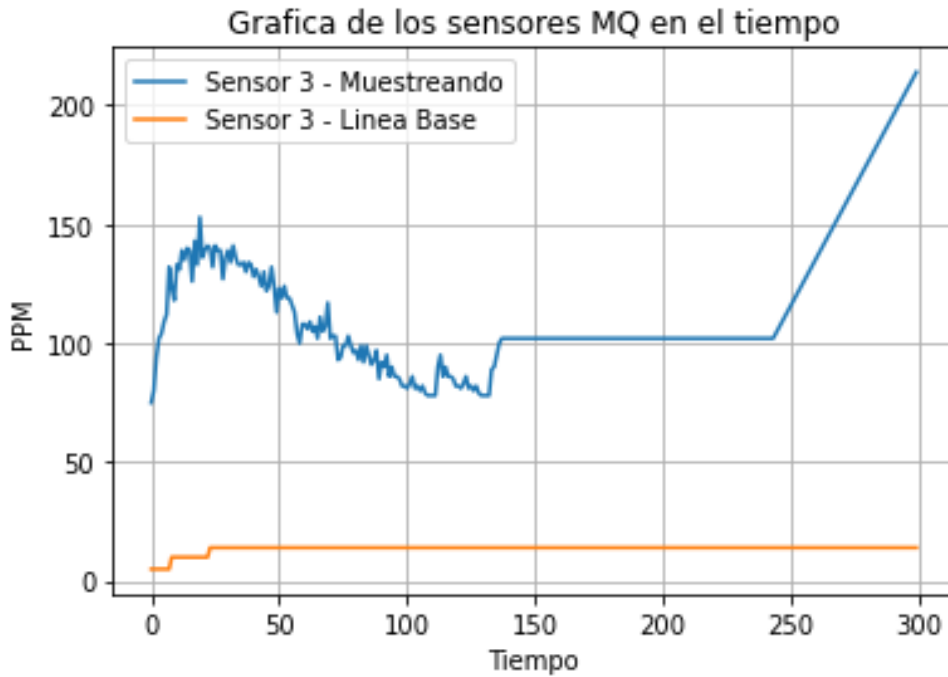


Figura 61. Medición del sensor 3 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-7)

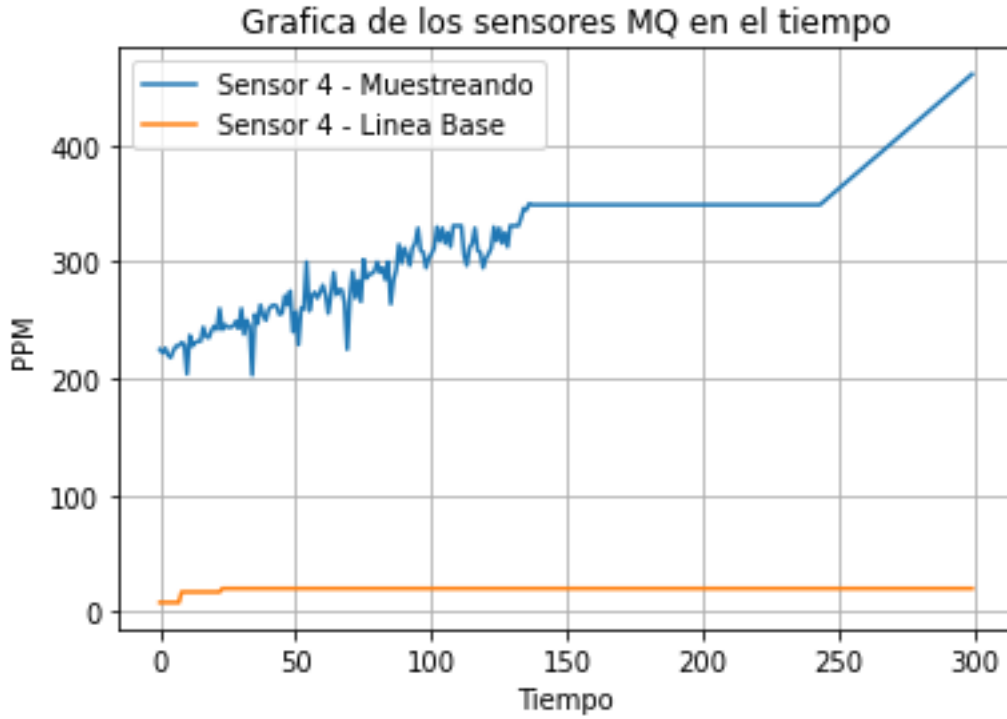


Figura 62. Medición del sensor 4 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-5)

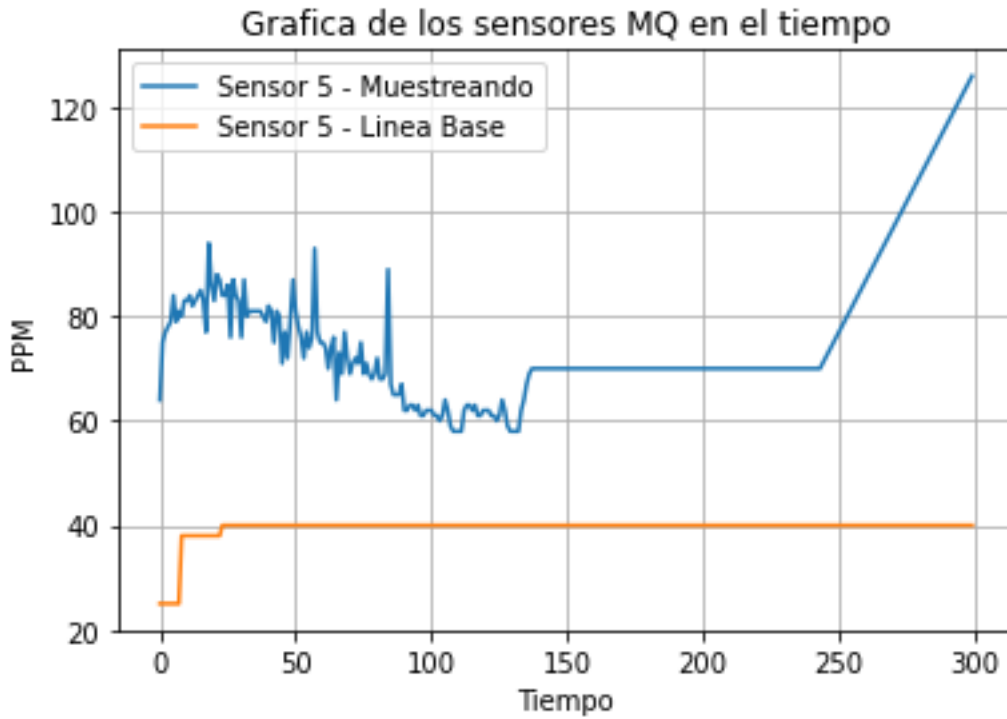


Figura 63. Medición del sensor 5 durante – 300 Minutos. Con su valor mínimo y máximo junto con la recuperación de la línea base (MQ-8)

A partir de estas graficas se puede obtener una clara idea de que los compuestos y gases liberados por el lixiviado son altamente grandes, quiere decir que, si se pasan por un proceso adecuado, generarían un potencial eléctrico que se podría implementar en algún sitio o lugar que no tenga un acceso a las redes eléctricas como las tiene una zona urbana. En la siguiente figura se puede ver un diagrama de bloques que explica como es el proceso para generar el potencial eléctrico a partir del biogás generado de los lixiviados del relleno sanitario.

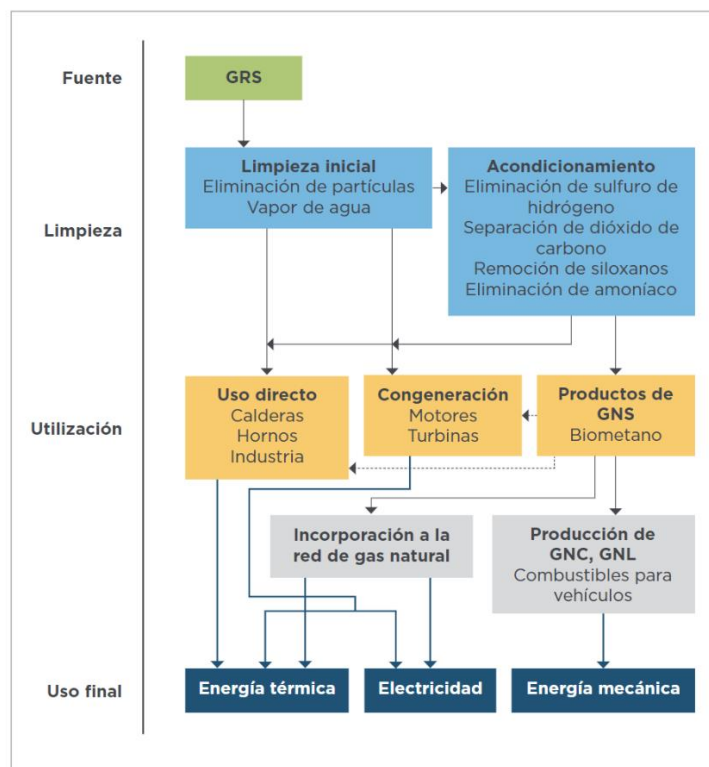


Figura 64. Tratamientos y usos del biogás, Fuente: Dudek et., 2010

6.6 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL BIOGÁS

Se puede usar una fracción del lixiviado para generar biogás, que puede producir energía eléctrica. Entre estas se encuentran las siguientes formas.

Calor y vapor: pueden ser el producto principal en aplicaciones de calefacción y cocción, o puede ser un subproducto de la generación de electricidad en ciclos combinados de electricidad y vapor.

Combustible gaseoso: el biogás producido por el lixiviado puede ser utilizado en motores de combustión interna (MCI) para generación eléctrica, para la calefacción y acondicionamiento en el sector doméstico, comercial e institucional y en vehículos modificados

Generación de electricidad: la electricidad generada a partir del biogás puede ser comercializada con el término moderno de “Energía Verde”, por considerarse en el grupo de energías renovables.

Además, el biogás puede ser integrado en el sistema de distribución del gas natural, donde se posea. De acuerdo con lo expuesto anteriormente la composición del biogás hace que este sea un combustible con buenas características para ser utilizado en turbinas o máquinas de combustión interna que accionen generadores eléctricos. El proceso de la generación de energía consiste en tener un vertedero controlado donde se extraiga el biogás de los lixiviados a través de pozos verticales perforados en toda la extensión del vertedero controlado. Con las gráficas anteriores se encontró que el lixiviado tiene grandes cantidades de metano y monóxido de carbono los cuales pueden ser usados para la generación de energía verde.

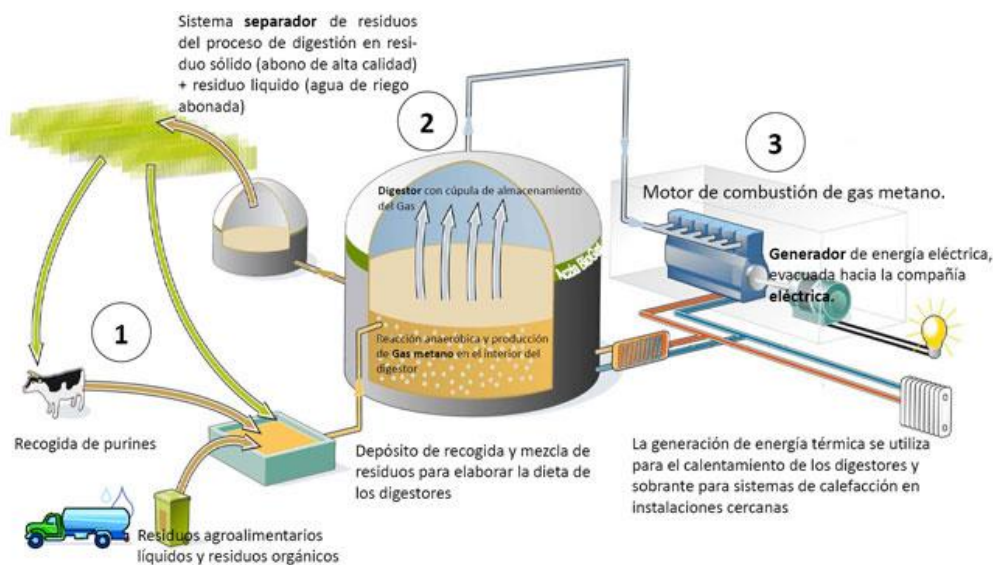


Figura 65. Sistema de producción de energía eléctrica a partir del biogás

7 CONCLUSIONES

La implementación de la TIVA TM4C123GXL tuvo un papel muy importante gracias a sus métodos de adquisición, procesando las señales y su facilidad de programación y gran variedad de librerías compatibles con las del IDE de Arduino. La implementación para guardar los datos se caracterizó porque se usó el lenguaje de programación Python porque cumplía con los requerimientos necesarios para la visualización de las variables, como la lectura de los gases y concentraciones de los sensores MQ.

La validación del proceso no se realizó en campo abierto ya que no fue posible acceder al relleno sanitario las GARZAS por los protocolos de bioseguridad, por lo cual se pidieron las muestras para realizar las pruebas de la nariz electrónica en un lugar seguro y libre de contaminantes para tener una validación de forma correcta.

A partir de los gases generados por el lixiviado, se pueden generar potenciales eléctricos con el proceso adecuado. Ya que estos a medida que transcurría el tiempo iban en aumento, quiere decir estos compuestos podrían ser usados para generar energía eléctrica en lugares de difícil acceso.

8 BIBLIOGRAFIA

- Moreno, I., Caballero, R., Galán, R., Matía, F., & Jiménez, A. (2009). *La Nariz Electrónica: Estado del Arte* (Vol. 6). <http://www.revista-riai.org>
- Palanca Sánchez I (Dir.), O. V. J. (Coord. Cient.), E. S. J. (Dir.), B. S. J. (Comit. Redac.). (2011). *Unidad central de esterilización Estándares y recomendaciones*.
- National Geographic. (2010). Abeja. [Fotografía]. <https://www.nationalgeographic.com.es/animales/abeja>
- Aliaño-González, M. J., Ferreiro-González, M., Espada-Bellido, E., Barbero, G. F., & Palma, M. (2020). Novel method based on ion mobility spectroscopy for the quantification of adulterants in honeys. *Food Control*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107236>
- Aliaño-González, M. J., Ferreiro-González, M., Espada-Bellido, E., Palma, M., & Barbero, G. F. (2019). A screening method based on headspace-ion mobility spectrometry to identify adulterated honey. *Sensors (Switzerland)*, 19(7). <https://doi.org/10.3390/s19071621>
- Bodor, Z., Kovacs, Z., Rashed, M. S., Kókai, Z., Dalmadi, I., & Benedek, C. (2020). Sensory and physicochemical evaluation of acacia and linden honey adulterated with sugar syrup. *Sensors (Switzerland)*, 20(17), 1–20. <https://doi.org/10.3390/s20174845>
- Borowik, P., Adamowicz, L., Tarakowski, R., Waclawik, P., Oszako, T., Ślusarski, S., & Tkaczyk, M. (2021). Development of a low-cost electronic nose for detection of pathogenic fungi and applying it to fusarium oxysporum and rhizoctonia solani. *Sensors*, 21(17). <https://doi.org/10.3390/s21175868>
- Ciursa, P., & Oroian, M. (2021). Voltammetric e-tongue for honey adulteration detection. *Sensors*, 21(15). <https://doi.org/10.3390/s21155059>
- Cristhian Manuel, D.-A., & Oscar Eduardo, G.-G. (n.d.). *Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (Cyphomandra Betacea Sendt) Electronic Nose to Determine the Maturity Index of the Tree Tomato (Cyphomandra Betacea Sendt) Hernández-Ordoñez Mariela*.
- Dymerski, T., Gebicki, J., Wardencki, W., & Namieśnik, J. (2014). Application of an electronic nose instrument to fast classification of Polish honey types. *Sensors (Switzerland)*, 14(6), 10709–10724. <https://doi.org/10.3390/s140610709>
- Fedorov, F. S., Yaqin, A., Krasnikov, D. v., Kondrashov, V. A., Ovchinnikov, G., Kostyukevich, Y., Osipenko, S., & Nasibulin, A. G. (2021). Detecting cooking state of grilled chicken by electronic nose and computer vision techniques. *Food Chemistry*, 345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128747>

- Huang, Y., Doh, I. J., & Bae, E. (2021). Design and validation of a portable machine learning-based electronic nose. *Sensors*, *21*(11). <https://doi.org/10.3390/s21113923>
- Marchal, P. C., Sanmartin, C., Martínez, S. S., Ortega, J. G., Mencarelli, F., & García, J. G. (2021). Prediction of fruity aroma intensity and defect presence in virgin olive oil using an electronic nose. *Sensors*, *21*(7). <https://doi.org/10.3390/s21072298>
- Moreno, I., Caballero, R., Galán, R., Matía, F., & Jiménez, A. (2009a). Electronic nose: State of art. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, *6*(3), 76–91. [https://doi.org/10.1016/s1697-7912\(09\)70267-5](https://doi.org/10.1016/s1697-7912(09)70267-5)
- Moreno, I., Caballero, R., Galán, R., Matía, F., & Jiménez, A. (2009b). *La Nariz Electrónica: Estado del Arte* (Vol. 6). <http://www.revista-riai.org>
- Subari, N., Saleh, J. M., Shakaff, A. Y. M., & Zakaria, A. (2012). A hybrid sensing approach for pure and adulterated honey classification. *Sensors (Switzerland)*, *12*(10), 14022–14040. <https://doi.org/10.3390/s121014022>
- Szczurek, A., Maciejewska, M., Bąk, B., Wilk, J., Wilde, J., & Siuda, M. (2020). Gas sensor array and classifiers as a means of varroosis detection. *Sensors (Switzerland)*, *20*(1). <https://doi.org/10.3390/s20010117>
- Wang, J. Y., Meng, Q. H., Jin, X. W., & Sun, Z. H. (2021). Design of handheld electronic nose bionic chambers for Chinese liquors recognition. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, *172*. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108856>
- Zuluaga-Domínguez, C. M., Nieto-Veloza, A., & Quicazán-de-Cuenca, M. (2018). Clasificación de las mieles colombianas por nariz electrónica y parámetros físico-químicos, utilizando redes neuronales y algoritmos genéticos. *Journal of Apicultural Research*, *57*(1), 145–152. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1339521>
- Ureña Varela, Mauricio, Arrieta Bolaños, Esteban, Umaña, Eduardo, Zamora, Luis Gabriel, & Arias Echandi, María Laura. (2007). Evaluación de la posible adulteración de mieles de abeja comerciales de origen costarricense al compararlas con mieles artesanales provenientes de apiarios específicos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*
- Delgado Saborit, Juana María. (2005). *Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. [Tesis doctoral, Universitat Jaume I] Google Scholar.*
- 605-00008-MQ-2-Datasheet-370464 (1). (n.d.).
- Análisis Teórico-Práctico, U., Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., & Levy, A. (2017). *GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOGÁS CAPTURADO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.*
- HANWEI SENSORS MQ-6 www.hwsensor.com. (n.d.). www.hwsensor.com

micro AL2O3 ceramic tube, Tin Dioxide. (n.d.). <http://www.hwsensor.com>

MQ-3. (n.d.).

MQ-7. (n.d.).

MQ-8. (n.d.).

MQ-9_Hanwei. (n.d.).

9 ANEXOS

En la figura 66 se puede observar el algoritmo generado en Python para guardar los datos que se reciben a través de la comunicación serial, en este código se utilizaron dos librerías las cuales son Serial y Time que nos permiten realizar conexión entre el sistema embebido con la computadora y manejar los tiempos en intervalos deseados, en este caso de 1 minuto.

```
1 import serial
2 import time
3
4 archivo = open('C:\\Users\\Desktop\\TG - Camara de Gas\\Python\\datos.txt', 'w')
5 serialTiva = serial.Serial("COM3",115200)
6 time.sleep(1)
7
8 while True:
9     cad = serialTiva.readline().decode('ascii')
10    print(cad)
11
12    archivo.write(cad)
```

Figura 66. Algoritmo para guardar los datos recibidos por el sistema embebido

En la figura 67, se puede ver el código que nos permitió cargar la data para realizar su respectivo ploteo, se le aplica la transpuesta a los datos para poder graficarlos adecuadamente y tener una matriz de 5 filas y 300 columnas, las librerías Numpy y Matplotlib permiten tener resultados óptimos a la hora de cargar y graficar los datos.

```
import numpy as np # Libreria de matrices numeros enteros
import matplotlib.pyplot as plt #libreria Graficas

relleno1 = np.loadtxt('datos_relleno1.txt')
relleno2 = np.loadtxt('datos_relleno2.txt')
base = np.loadtxt('base.txt')

relleno1 = np.transpose(relleno1)
relleno2 = np.transpose(relleno2)
print(base)

plt.title('Grafica de los sensores MQ en el tiempo')
plt.xlabel('Tiempo')
plt.ylabel('PPM')
plt.grid('on')
plt.plot(relleno1[0,0:300], label='Sensor 1')
plt.plot(relleno1[1,0:300], label='Sensor 2')
plt.plot(relleno1[2,0:300], label='Sensor 3')
plt.plot(relleno1[3,0:300], label='Sensor 4')
plt.plot(relleno1[4,0:300], label='Sensor 5')
plt.plot(base[1,0:300], label='Linea Base')
leg = plt.legend();
plt.show()
```

Figura 67. Código de procesamiento y ploteo de las señales