

DESARROLLO DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA PARA DETECTAR
ADULTERACIONES EN LA MIEL DE ABEJAS TIPO EXPORTACIÓN DE LA
ASOCIACIÓN DE APICULTORES DE ARAUCA

Autor:

DEINER ALEXIS 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 UNA NARIZ ELECTRÓNICA PARA DETECTAR
ADULTERACIONES EN LA MIEL DE ABEJAS TIPO EXPORTACIÓN DE LA
ASOCIACIÓN DE APICULTORES DE ARAUCA.

Autor:

DEINER ALEXIS 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	MIEL DE ABEJAS.....	15
4.1.1	COMPOSICIÓN Y CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LA MIEL	15
4.1.2	ACIDEZ Y PH	16
4.1.3	ÍNDICE DE REFRACCIÓN	17
4.1.4	DENSIDAD Y VISCOSIDAD.....	17
4.1.5	HIGROSCOPICIDAD	17
4.1.6	CRISTALIZACIÓN	18
4.1.7	PRESIÓN OSMÓTICA.....	18
4.1.8	COLOR.....	18
4.2	PANALES DE ABEJA.....	19
4.3	ASOCIACIÓN DE APICULTORES DE ARAUCA	20
4.4	ADULTERACIONES EN LA MIEL	20
4.4.1	ALMIDÓN	21
4.4.2	GELATINA.....	22
4.4.3	ANTISÉPTICOS	22
4.4.4	COLORANTES.....	22
4.4.5	AROMATIZANTES	22
4.4.6	JARABE DE GLUCOSA (JG).....	22
4.4.7	JARABE DE AZÚCAR INVERTIDO.....	22
4.4.8	JARABE DE MAÍZ DE ALTA FRUCTOSA (JMAF).....	23
4.4.9	SACAROSA.....	23
4.4.10	MELAZA	23
4.4.11	ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL	23
4.5	COMPUESTOS Y VOLATILES	24

4.5.1	COMPUESTOS AROMÁTICOS	24
4.5.2	ÓXIDO NITROSO Y OZONO	24
4.5.3	HIDRÓGENO (H ₂), OXÍGENO (O ₂) Y DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	24
4.5.4	ALCANOS	25
4.5.5	METANO	25
4.5.6	COMPUESTOS ORGANOSULFURADOS	25
4.5.7	ALCOHOLES	25
4.5.8	COMPUESTOS ORGÁNICOS DE AZUFRE	26
4.6	NARIZ ELECTRÓNICA	26
4.7	VARIABLES DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA	26
4.7.1	TEMPERATURA.....	26
4.7.2	HUMEDAD.....	27
4.7.3	PRESIÓN	27
4.8	SISTEMAS EMBEBIDOS	27
4.8.1	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS SISTEMAS EMBEBIDOS	28
4.9	TEXAS INSTRUMENTS.....	29
4.10	TIVA TM4C123G.....	29
4.11	PYTHON.....	30
4.12	SENSORES DE GAS	30
4.12.1	MQ-2	30
4.12.2	MQ-3	32
4.12.3	MQ-5	33
4.12.4	MQ-8	34
4.12.5	MQ-9	35
5	METODOLOGÍA.....	37
5.1	VARIABLES EN EL DISEÑO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA Y PARAMETROS DEL PROTOTIPO.....	37
5.2	DISEÑO CAD Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	41
5.2.1	DISEÑO CAD PRINCIPAL	42
5.2.2	DISEÑO ELECTRÓNICO.....	43
5.2.3	INSTRUMENTOS QUÍMICOS	44
5.3	ETAPA SENSORIAL.....	45

5.3.1	SENSORES DE GAS (MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9)	46
5.4	CÁLCULOS Y ECUACIONES PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES MQ	47
5.5	ADQUISICIÓN DE LOS DATOS Y SU VISUALIZACIÓN	49
5.6	PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE LOS COMPUESTOS VOLATILES	51
6	RESULTADOS Y DISCUSIONES	53
6.1	IMPLEMENTACIÓN DE DISEÑOS	53
6.1.1	ESQUEMA ELECTRÓNICO DE LAS CONEXIONES DE LA TIVA TM4C123G.....	53
6.1.2	ESQUEMA DE CONEXIONES DE LOS SENSORES MQ.....	54
6.1.3	ESQUEMA DE LA FUENTE DE VOLTAJE	54
6.1.4	CIRCUITO IMPRESO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA	55
6.2	PROTOTIPO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA.....	56
6.2.1	COMPONENTES USADOS PARA EL DESARROLLO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA	58
6.3	FUNCIONAMIENTO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA.....	59
6.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
6.5	SENSIBILIDAD	61
6.6	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS GENERADOS POR LA MIEL PURA Y LA MIEL CON EDULCORANTES	63
6.7	BÚSQUEDA DE PUREZA DE LA MIEL	69
7	CONCLUSIONES.....	73
8	BIBLIOGRAFIA.....	74
9	ANEXOS	76

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Humedad en mieles.	27
Tabla 2. Interruptores de usuario y señal de Led RGB asociadas a las salidas GPIO.....	29
Tabla 3. Configuración de pines de los Módulos MQ.....	47
Tabla 4. Valores adquiridos de la calibración de los sensores MQ.....	49
Tabla 5. Sensibilidad de los sensores MQ.....	63
Tabla 6. Gases sensados por el MQ-2	64
Tabla 7. Gases sensados por el MQ-3	65
Tabla 8. Gases sensados por el MQ-5	66
Tabla 9. Gases sensados por el MQ-8	67
Tabla 10. Gases sensados por el MQ-9	68

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. National Geographic. (2010). Abeja. [Fotografía].....	15
Figura 2. National Geographic. (2010). Abeja. [Fotografía].....	16
Figura 3. Ecocolmena. Innovación social en apicultura. (2021) Miel. [Fotografía]	17
Figura 4. Ecocolmena. Innovación social en apicultura. Miel cristalizada. (2019) [Fotografía] https://www.ecocolmena.org/wp-content/uploads/2019/09/Diseno-sin-titulo-35.jpg	18
Figura 5. Miel pura [Fotografía] Autor: propia.	19
Figura 6. Ecocolmena. Panal de Cera de las abejas. (2016) [Fotografía].....	19
Figura 7. Apicultor. [Fotografía] https://encolombia.com/wp-content/uploads/2021/02/apicultura-696x391.jpg	20
Figura 8. Tipos de miel artificiales [Fotografía] Autor: propia.....	21
Figura 9. Estructura interna de un sistema embebido.....	28
Figura 10. Tarjeta Tiva C Series LaunchPad.....	30
Figura 11. Sensor de gas MQ-2	32
Figura 12. Sensor de gas MQ-3	33
Figura 13. Sensor de gas MQ-5	34
Figura 14. Sensor de gas MQ-8	35
Figura 15. Sensor de gas MQ-9	36
Figura 16. Metodología del proyecto	37
Figura 17. Sensores MQ, calentamiento de 24 horas	38
Figura 18. Esterilización de la cámara.....	39
Figura 19. Limpieza del material.....	40
Figura 20. Actividades en el punto de uso.....	40
Figura 21. Secado de la cámara con calor	41
Figura 22. Prototipo de la nariz electrónica.....	42
Figura 23. Diseño CAD de la cámara de gas.....	42
Figura 24. PCB Tarjeta de Sensores MQ	43
Figura 25. Diseño 3D de la Tarjeta de Sensores MQ	43
Figura 26. Vidrio de reloj con la muestra de la miel pura	44
Figura 27. Guantes de látex usados para manipular las muestras de la miel pura y con edulcorantes	44
Figura 28. Matriz de sensores MQ	45
Figura 29. Sensor de gas MQ	46
Figura 30. Esquema de conexión general para los módulos MQ	46
Figura 31. Sensor de gas serie MQ.....	47
Figura 32. Tarjeta para sensores MQ.....	47
Figura 33. Estructura interna de los sensores MQ.....	48
Figura 34. Curva característica del sensor MQ-2	48
Figura 35. Sistema de adquisición de la nariz electrónica.....	50
Figura 36. Vectores adquiridos de los sensores MQ	51
Figura 37. Grafica de los vectores adquiridos de los sensores MQ.....	51

Figura 38. Muerte por calor a la cámara de gas.....	52
Figura 39. Demostración del uso de la muestra (no calentada)	52
Figura 40. Esquema de conexiones de la TIVA TM4C123G.....	53
Figura 41. Esquema de conexiones de los sensores MQ.....	54
Figura 42. Esquema de la fuente de voltaje con regulador LM7805.....	54
Figura 43. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista 2D	55
Figura 44. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista 3D	55
Figura 45. Circuito electrónico de la nariz electrónica en vista real	56
Figura 46. Circuito electrónico de la nariz parte trasera.....	56
Figura 47. Nariz electrónica diseño CAD	57
Figura 48. Nariz electrónica conectada a un equipo de computo	57
Figura 49. Preparación de la muestra de miel	59
Figura 50. Nariz electrónica funcionando	60
Figura 51. Posición de los sensores en la nariz electrónica.....	61
Figura 52. Curva característica de sensibilidad MQ-2	64
Figura 53. Curva característica de sensibilidad MQ-3	65
Figura 54. Curva característica de sensibilidad MQ-5	66
Figura 55. Curva característica de sensibilidad MQ-8	67
Figura 56. Curva característica de sensibilidad MQ-9	68
Figura 57. Compuestos de H ₂ (Hidrogeno) de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas	69
Figura 58. Compuesto de Benzine de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas.....	70
Figura 59. Compuesto de CH ₄ (Metano) de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas ..	70
Figura 60. Compuesto de CO (Monóxido de carbono) de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas.....	71
Figura 61. Compuesto LPG (Gas licuado de petróleo) de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas.....	71
Figura 62. Algoritmo para guardar los datos recibidos por el sistema embebido	76
Figura 63. Código de procesamiento y ploteo de las señales	76

1 INTRODUCCION

En este proyecto se realiza un prototipo de nariz electrónica, para analizar posibles alteraciones en la miel, si la cantidad de edulcorante sobrepasa el 50% con respecto a la miel, el color del producto y la densidad varía, provocando un rechazo por parte de la percepción del consumidor, valorar un producto local, puro, sin mezclas, más saludable que el azúcar, y de paso apoyar a la asociación de apicultores de Arauca que lo produce, utilizando un método en la miel para la toma de muestras en la matriz de sensores y tener un control de calidad de este alimento. La apicultura es la actividad dedicada a la crianza de las abejas y a prestarles los cuidados necesarios con el objetivo de obtener y consumir los productos que son capaces de elaborar y recolectar. Un beneficio indirecto producto de la actividad de pecoreo que realizan las abejas corresponde a la polinización que realizan estos insectos

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La calidad de los alimentos es el conjunto de cualidades que los hacen aceptables a los consumidores y entraña muchos aspectos (calidad sensorial, nutritiva, sanitaria, tecnológica, económica) donde uno de los más importantes actualmente es la calidad sensorial; en un análisis químico, los estímulos sensoriales se usan como complemento del análisis e identificación de una muestra dada, este aspecto está ligado a las propiedades organolépticas, produciendo cierto grado de aceptación o de rechazo. Las exigencias de la industria de la alimentación hacen necesario desarrollar métodos de análisis y control cada vez más precisos, eficaces y confiables, que permitan asegurar la calidad y potenciar la competitividad de este sector. El control de calidad de alimentos mediante el uso de una nariz electrónica es un método no utilizado por la asociación de apicultores de Arauca, los compuestos volátiles que componen la miel analizada se someten a un proceso previo de calentamiento y vaporación durante un tiempo optimizado y se aísla así el gas que se concentra en la parte superior, de esta forma podemos analizar su composición y determinar si presenta algún tipo de alteración. Esto porque el producto es de tipo exportación.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una nariz electrónica para detectar adulteraciones en la miel de abejas tipo exportación de la asociación de apicultores de Arauca.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar el prototipo de nariz electrónica idónea para la identificación de adulteraciones en la miel.

Implementar el prototipo de nariz electrónica para la detección de adulteraciones en la miel.

Validar el uso del prototipo de nariz electrónica en campo.

Discriminar el rango de pureza óptimo para la miel tipo exportación.

3.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

El prototipo de nariz electrónica para detectar los edulcorantes de la miel se implementa y se realizan pruebas, con diferentes tipos de miel: miel pura de los apicultores de Arauca, miel con edulcorantes las cuales se encuentran en los sobres que dan cuando se va a comer en un restaurante o lugar de comidas rápidas.

El prototipo tiene como finalidad encontrar con facilidad cual miel tiene edulcorantes o cual miel tiene tendencias de ser más pura.

El prototipo de la nariz electrónica es implementado para muestras en diferentes instrumentos químicos como lo pueden ser: vasos precipitados, vidrio reloj entre otros.

La cámara de medida tiene como objetivo principal detectar los compuestos y concentraciones de la miel, se requiere la calibración previa de los sensores en un mismo ambiente ya que este siempre va a estar en un mismo punto.

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.

4 MARCO TEORICO

4.1 MIEL DE ABEJAS

La miel es el alimento que producen y fabrican las abejas, con la invención de la apicultura se ha podido extender y revolucionar la producción de miel; y que a nivel nutricional es un alimento energético. (Fattori, 2004). La producción de miel de abeja es un proceso que hace posible que las flores se polinicen y de esa manera se den frutos, pero más allá de su importancia en el medio ambiente, nos enfocamos en la miel que fabrican las abejas, es decir, para poder hacer los análisis pertinentes a cerca de la miel de abejas, en primera instancia hay que definirla.



Figura 1. National Geographic. (2010). Abeja. [Fotografía].

<https://www.nationalgeographic.com.es/animales/abeja>

Por lo tanto, “la miel de abejas *Apis mellifera*, ha sido considerada una alternativa en el gremio agroalimentario, gracias a sus aportes nutricionales, al ser un producto natural azucarado, y el cual no sufre ninguna transformación para el consumo humano”. (Urrego, 2017, p.1). La miel es el principal producto de la apicultura, entendiendo de igual forma, que de la miel se pueden desplegar muchas otras cosas, como el propóleo, la jalea, el polen, etc.

4.1.1 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MIEL

La miel es el producto obtenido por abejas a partir del néctar y exudados sacaríneos de las plantas, libado, modificado y almacenado en colmenas. Esto quiere decir que la miel de abejas tiene diferentes componentes para su producción, pero en términos generales, dependiendo del origen de la miel, se pueden clasificar en dos tipos:

- Miel de flores: obtenida de los néctares de las flores.
- Miel de mielada: obtenida a partir de las secreciones de las partes vivas de las plantas o de insectos succionadores presentes en ellas.

En ambas pueden presentarse toxinas que provienen de néctares o sustancias tóxicas, que atacan directamente al sistema central nervioso por su alto contenido en mieles con sustancias tóxicas, ricas en alcaloides. (Fattori, 2004).



Figura 2. National Geographic. (2010). Abeja. [Fotografía].

<https://www.nationalgeographic.com.es/animales/abeja>

En lo que refiere a la parte de la composición, tal como se ve en la imagen, “el color y aroma de la miel dependen de las flores cuyo néctar libaron las abejas” (Fattori, 2008, p.33). Como se menciona en el punto anterior, existen dos tipos de miel que varían según su origen, por tanto, la composición de la miel de mielada es distinta a la composición de la miel de néctar de las flores, ya que, la composición del néctar del cual las abejas fabrican la miel es muy variada.

Una de las características a resaltar es el hecho, de que “en épocas de escasez de néctar, la abeja busca alimento en otras fuentes de azúcar y frecuentemente recoge mielada elaborando la llamada miel de mielada o su mezcla con miel de flores”. (Fattori, 2008, p.2). Además de que la miel es un edulcorante nutritivo natural, aunque posee mayor poder endulzante que la sacarosa. Sin embargo, es menester resaltar, que no es un alimento uniforme, porque varía según las abejas que se utilicen, la forma en cómo se alimentan y cómo se lleva a cabo su procedimiento.

4.1.2 ACIDEZ Y PH

El néctar que las abejas recogen tiene componentes menores tales como: gomas, almidón, tanino, sustancias minerales, y ácidos oxálico, málico y tartárico. Sin embargo, el contenido de nitrógeno y de vitaminas es bajo y su pH es ligeramente alcalino. (Fattori, 2004). Entre los ácidos orgánicos que se presentan en la miel, se le confiere acidez que aporta a su sabor y aroma característico. Lo que lleva a colación que la alta cantidad en azúcares producen el efecto osmótico, que, con ayuda de la acidez y el pH, impiden los microorganismos, de allí,

que sea esencial el que la miel permanezca en lugares ambiente para no que se vea afectada por especies bacterianas, ya que la acidez de la miel determina la frescura y ésta se puede ver afectada también, por la manipulación de la misma, en el proceso o en su recolección. (Blanco et al. 2016).

4.1.3 ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción es importante, pues, permite saber las propiedades físicas de la miel, ya que la mayoría presentan una alta dependencia con el contenido de agua. Es decir, que el índice de refracción medido a 20 °C (68 °F) de la miel de mielada oscila entre 1,4932 (17,3% H₂O) y 1,5008 (14,4% H₂O) a diferencia de las mieles florales que presentan valores que van desde 1,4861 (20,2% H₂O) hasta 1,5007 (14,4% H₂O). (Fattori, 2004).

4.1.4 DENSIDAD Y VISCOSIDAD

Hay que tener en cuenta, que la densidad de la miel depende de la medición de esta propiedad a 20 °C de diferentes muestras de miel, ya que la consistencia de la miel puede ser fluida, parcial, viscosa o totalmente cristalizada. (Fattori, 2004). Aunque siempre es determinada por la cantidad de agua que se registra en ella, de esa manera se puede determinar si es densa y viscosa, es decir, que a mayor porcentaje de agua, la viscosidad resulta siendo menor.



Figura 3. Ecocolmena. Innovación social en apicultura. (2021) Miel. [Fotografía]

<https://www.ecocolmena.org/la-quimica-de-la-miel-de-abejas/>

4.1.5 HIGROSCOPICIDAD

Al referir que la miel es higroscópica, es decir, el contenido de la miel es bajo en agua, y esto no permite que las bacterias puedan aparecer y prosperar, gracias a este fenómeno la miel de las abejas no se vence. Pero hay que referirnos a la cuestión, de que la miel debe ser bien sellada, o de otra manera no podría estar a salvo de microorganismos, ya que, al ser una solución concentrada, alta en azúcares posee la capacidad de absorber agua del ambiente, o por el contrario de perderla. (Fattori, 2004).

4.1.6 CRISTALIZACIÓN

Muchas de las mieles que se producen, suelen cristalizarse con el tiempo, debido a que la glucosa supera la concentración de saturación y cristaliza de manera espontánea, es por eso, que este proceso se inicia a partir de pequeños cristales. Sin embargo, en el proceso de cristalización las mieles fermentan más fácilmente ya que el azúcar en solución está más diluido, de igual manera, la forma de almacenamiento y la viscosidad pueden modificar la cristalización. (Fattori, 2004).



Figura 4. Ecocolmena. Innovación social en apicultura. Miel cristalizada. (2019)
[Fotografía]

<https://www.ecocolmena.org/wp-content/uploads/2019/09/Diseno-sin-titulo-35.jpg>

4.1.7 PRESIÓN OSMÓTICA

La presión osmótica es de vital importancia para el organismo porque aumenta la absorción de los azúcares. Este proceso permite la fácil asimilación de los azúcares que termina convirtiéndose en una relevante fuente de energía para personas con condiciones de alto rendimiento físico, como lo son los atletas. (Fattori, 2008). Y esto se puede ver reflejado en la miel, o en combinación con proteínas o alimentos que ayudan a la digestión.

Estos azúcares se absorben de manera que se condiciona el organismo para transportar y de esa manera, no generar alteraciones en el metabolismo como con la sacarosa, ya que, posee un mayor endulzante.

4.1.8 COLOR

En algunas ocasiones el color de la miel se refleja de igual manera, por el tipo de flor que se están usando o por el tipo de alimentación que manejen las abejas, ya que, depende siempre del origen del néctar para poder verificar la fabricación de la miel de las abejas.

En esto también varía la humedad, la región, etc., en general las mieles dependen del origen botánico, es decir, contribuyen algunas veces el cambio de color, por la pigmentación de las

flores o por la forma de almacenar la miel, entre muchas otras características, la oxidación de los polifenoles que pueda contener también tiene la capacidad para que la miel cambie de color. (Fattori, 2004).



Figura 5. Miel pura [Fotografía] Autor: propia.

4.2 PANALES DE ABEJA

El panal de la abeja es un proceso que realizan las abejas obreras con la realización y fabricación de la cera, para el tamaño de los compartimentos siempre es natural la necesidad de almacenar no solo el alimento, sino que también dejan sus larvas, en la mayoría de los casos, los primeros espacios que se vislumbran del panal suelen ser más gruesos para hacer de barrera natural.



Figura 6. Ecocolmena. Panal de Cera de las abejas. (2016) [Fotografía]

<https://www.ecocolmena.org/wp-content/uploads/2016/09/funciones-del-panal-de-cera-de-abejas-1-scaled-1.jpg>

Los panales de la abeja están distribuidos por las funciones de las mismas, es decir, tiene una división de labores, la casta de las abejas obreras son las encargadas de visitar las flores, los zánganos se encargan de las funciones reproductivas, y no se presentan en casi todos los machos, sin embargo, todas estas funciones son controladas por la abeja reina que emite una

feromona. (Valido et al. 2014). Pero hay que tener en cuenta, que donde se encuentre el panal de la abeja, debe tener ciertas características, como el espacio para que ellas vuelen con libertad y tengan la luz suficiente, además de árboles rompe viento, es decir, los apicultores realizan un sondeo del espacio, ya que el sitio debe ser de un fácil acceso para el apicultor.

Por ello, la miel, tal cual se extra del panal, es una dispersión de acuosa de material con partículas cuyo tamaño varía en un amplio rango, desde azúcares, iones inorgánicos, hasta macromoléculas de proteínas, o esporas de hongos y levaduras (Fattori,2004).

4.3 ASOCIACIÓN DE APICULTORES DE ARAUCA

La asociación de apicultores de Arauca es un lugar donde se suele comercializar la miel por toneladas, entendiendo que han sido acompañados los procesos en que se fabrica y se dedican a explorar de forma sostenible la producción apícola. La miel se suma al rubro de productos que se pueden producir, de la misma, por ello, es supremamente importante, recalcar la labor tan importante que se realiza con las abejas, y la asociación que cuida del medio ambiente, promoviendo y salvaguardando el hábitat. (Gobernación de Arauca, 2020).

Además de que el principal papel de la apicultura es estudiar las costumbres y trabajos de las abejas, teniendo en cuenta, los métodos más prácticos para explotarlos de forma racional, en la fabricación de productos para el consumo humano. La apicultura exige poco capital y es catalogada como una de las ciencias más desarrolladas en Latinoamérica, respecto a la parte técnica, no tanto a su magnitud, pues su desarrollo solo alcanza un nivel del 10% de su potencial. (Salazar et al. 1999). De igual manera es importante resaltar, que no todos los lugares con vegetación sirven para adecuarse a la apicultura, siempre es necesario analizar con anticipación las características de las zonas y las condiciones en que se podrían establecer las colonias para no poner en riesgo la fragilidad de las abejas.



Figura 7. Apicultor. [Fotografía]

<https://encolombia.com/wp-content/uploads/2021/02/apicultura-696x391.jpg>

4.4 ADULTERACIONES EN LA MIEL

La adulteración en la miel de la abeja se da por varias razones, entre las que se encuentran, la adición de sustitutos artificiales de menor valor como el jarabe de maíz, el ‘azúcar invertido’ obtenido por hidrólisis química, y la sacarosa en forma de jarabe; también existen otros

factores en los cuales se relaciona la alimentación de las colmenas durante el flujo de miel y la alimentación en exceso de las colmenas durante la mielada. (Varela et al. 2007).

Sin embargo, los métodos de detección de las alteraciones en la miel más utilizados, incluyendo la presencia de azúcares extraños y la cuestión de el sobrecalentamiento del producto, sin embargo, en la actualidad los apícolas no tienen laboratorios especializados para realizar análisis de control de calidad de la miel. Además, es importante conocer los parámetros de calidad que se tienen en cuenta para la distribución y comercialización de la miel, como lo son: la humedad, las cenizas, los azúcares reductores, la conductividad eléctrica, el índice de diastasa. (Urrego, 2017).

Por ello, la nariz electrónica busca diferenciar las adulteraciones que se encuentran en la miel que se comercializa en los establecimientos de comida, como lo son, la miel de los asaderos de pollo, así que es menester tomar en cuenta los parámetros para poder determinar las adulteraciones.



Figura 8. Tipos de miel artificiales [Fotografía] Autor: propia

4.4.1 ALMIDÓN

Hay que mencionar, la importancia de la ciencia para miles factores a analizar, a mediados de 1810 se empezó a investigar lo orgánico, es decir, a partir del dióxido de carbono y del agua producida, se puede calcular la composición de una muestra, y es por medio de este método, que se puede encontrar en sustancias tales como el almidón y el azúcar, el oxígeno y el hidrogeno, que están unidos en la misma relación con el agua. Debido a esta relación se les llama hidratos de carbono. (carbono + agua). (Katz, 2016). Pero ciertos parámetros de calidad determinan que no se pueden encontrar en la miel.

4.4.2 GELATINA

La gelatina es otro de los parámetros físico-químicos que han sido legislados para no contenerse en lo que se estipula en el código alimentario, es decir, que incluso se han logrado producir ciertas células artificiales que tienen la misma presión osmótica que las células vivas, es decir, que al querer analizar ciertos porcentajes en la miel que están en relación con la gelatina y algún ácido, resultan siendo permeables al agua, aunque esto no es aplicable a todas las sustancias. (Katz, 2016). Sigue siendo algo que no admite para la calidad y composición del producto. (Fattori, 2004).

4.4.3 ANTISÉPTICOS

En medio de las exigencias, los antisépticos se ven envueltos por ser, uno de los compuestos manipulables para la eliminación de gérmenes, pero como se ha mencionado, es imposible el contenido de ellos en la miel, pues estas sustancias le son ajenas a su composición. (Fattori, 2004).

4.4.4 COLORANTES

Existen algunas diferencias a la hora de analizar los colorantes, tal como Fattori, ha mencionado en el artículo sobre las propiedades y la composición físico-químicas de la miel, ya que, existen múltiples variables para los colorantes orgánicos, pero la miel no puede tener en sí, ni colorantes, ni edulcorantes, ni ningún conservante, fuera del origen natural de la composición de la miel. (2004).

4.4.5 AROMATIZANTES

Los aromatizantes, son otros de los factores que no debe contener la miel, pues, aunque en la actualidad se distribuyan algunos para el consumo, lo ideal es que no se encuentren presentes en medio de la fabricación natural, pues altera la pureza de la miel.

4.4.6 JARABE DE GLUCOSA (JG)

El jarabe de la glucosa suele ser usado como edulcorante, pero este surge de las mieles adulteradas, es decir, puede ser determinado el nivel del jarabe de glucosa con la actividad óptica que presenta en los hidratos de carbono y que le confieren a la miel la propiedad desviar de plano la polarización de la luz polarizada. (Fattori, 2004). Por lo general sus cenizas están constituidas por cloruros y sulfatos, siendo de esta manera algo que no debe tener la miel, pues no sería pura

4.4.7 JARABE DE AZÚCAR INVERTIDO

Igual que el anterior, el jarabe de azúcar invertido es un proceso que se da por hidrólisis ácida, es decir, que se obtiene por la descomposición de almidones, que dan positivo cuando el producto está adulterado. (Fattori, 2004). Aunque su origen puede ser la caña de azúcar o

la remolacha azucarera, su composición química es similar a la de miel, siento está un poco más acuosa. Además, este jarabe de azúcar invertido puede ser detectado gracias a la espectroscopia infrarroja de Fourier, calibrando el porcentaje de adulteración en la miel.

4.4.8 JARABE DE MAÍZ DE ALTA FRUCTOSA (JMAF)

También es obtenido por hidrólisis ácida y determina, si las mieles han sido adulteradas por sobrecalentamiento o, si ha sido un adulteramiento a propósito, es decir, de acuerdo con el tipo de adulterante agregado, se pueden observar valores que determinan si son mayores en HMF a los que se encuentran normalmente en la miel. Ya que, el jarabe de maíz tiene una concentración alta de sodio debido al intercambio al cual se somete para su purificación por medio de la investigación de maltodextrinas. (Fattori, 2004).

4.4.9 SACAROSA

Con la sacarosa, a diferencia de la gelatina, ésta si permite la alteración de la miel, por el bajo contenido de agua de la miel, pues la cantidad de agua que permite pasar la miel no puede invertir la totalidad de la sacarosa y queda mucha azúcar en esta, además es una adulteración poco común. (Fattori, 2004). Ya que se puede detectar por microscopio, detectando elementos de la caña de azúcar, entre algunos otros.

4.4.10 MELAZA

La melaza tiene un contenido alto de cenizas, lo que hace que la conductividad eléctrica sea alta, dada la concentración de minerales, es decir, que la relación de entre las cenizas solubles y las insolubles, son valores relativamente constantes en la miel y que están alteradas. Ya que se puede determinar por la conductividad eléctrica, pues los valores de la miel para mieles florales estarían entre (0,1 a 0,7 mS/cm) o por el contrario, debería ser mayor para la miel de mielada. (Fattori, 2004).

4.4.11 ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

La alimentación artificial es una práctica que se realiza y que no siempre se encuentra justificada, pero existen múltiples variables para ejecutarla, es decir, en determinados periodos, como en el invierno, es menester recurrir a la alimentación artificial por medio de jarabes nutritivos que eviten que la colmena se encuentre sin alimento.

Lo cuestionable, es la adulteración y el peligro que corren algunas abejas de morir, ya que, la abeja necesita de manera autosuficiente abastecerse de manera natural, no artificial, lo rentable de la apicultura es dejar ser a las abejas en su medio, ayudándolas en la crianza y la fabricación de su miel, pero si verdaderamente se desea miel pura, sin alteraciones por edulcorantes o colorantes, entre muchos otros residuos que se obtienen cuando las abejas realizan su proceso de extracción, pues en la época del año en que se practica este proceso de alimentación artificial, se puede llevar a cabo con sacarosa o jarabes derivados del maíz. (Fattori, 2004).

4.5 COMPUESTOS Y VOLATILES

Suelen aparecer como productos de reacciones enzimáticas, que aceleran el proceso en escalas mayores, como la oxidación de lípidos y no enzimáticas, que caramelizan el azúcar. Además, que desde mediados del siglo XIX se conoce una gran cantidad de estos compuestos, y sus usos y aplicaciones.

4.5.1 COMPUESTOS AROMÁTICOS

Los compuestos aromáticos se encuentran presentes en múltiples sustancias que tienen como funciones aldehído o alcoholes. Los hidrocarburos aromáticos y sus derivados son compuestos cuyas moléculas están formadas por una o más estructuras de anillo estables del tipo antes descrito y pueden considerarse derivados del benceno, además, que estos también alteran la miel porque se encuentran presentes en los pesticidas. (Mager et al. s.f.)

4.5.2 ÓXIDO NITROSO Y OZONO

El óxido nitroso reacciona al dióxido de nitrógeno, lo que permite determinar el área de algunos apicultores, y de esa manera, se descarta el perímetro de la zona urbana para que no reaccione de forma violenta, al ser de igual manera, oxidante como el óxido nitroso, o en su formulación química, HONO, se fotoliza de manera, que por la misma luz se puede potenciar fácilmente la producción de radicales de hidroxilo, que también reacciona a la contaminación de la atmósfera con elevados niveles de óxido nítrico y óxido de nitrógeno, lo que terminaría siendo descartado, al influir y alterar los edulcorantes de la miel. Por ello, es importante analizar las características de estos oxidantes, pues, pueden formar nitritos orgánicos. (Katz, 2016).

Es importante tener presente esta parte, pues pueden generar también cambios en la atmósfera y la manera en que se genera la oxidación, además que el ozono, interfiere de manera directa al ambiente, de manera que algunas abejas por la cantidad de rayos ultravioleta pueden que no salgan a recolectar y polinizar las flores, lo que es una de las consecuencias más graves, referentes incluso, al calentamiento global. Y es en estos casos, cuando los apicultores necesitan recurrir a medidas de alimentación artificial como se mencionó en un punto anterior. (Delgado, 2005).

4.5.3 HIDRÓGENO (H₂), OXÍGENO (O₂) Y DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El hidrógeno es el que da paso a múltiples procesos químicos, en un rango de alteración o conservación de la miel, entre 2 a 4 meses, de estarse fabricando, es decir, que el radical del hidrógeno es poco estable y se oxida con el oxígeno molecular, para dar procesos que determinan que su oxidación es lenta. Aunque, existe un problema en medio de la producción de miel de abeja por los apicultores que no pueden mantener las colmenas en un solo sitio, ya que eso terminaría por estresar a las abejas, que pueden llegar a no polinizar las flores, lo que reduciría la producción y la formación del ozono, y es lo que conlleva que la tierra pueda ser protegida de los rayos ultravioleta.

Por ello, es importante este proceso químico, en que, los hidrocarburos reaccionan más rápidamente que los alcanos para formar ozono. (Delgado, 2005).

4.5.4 ALCANOS

Mucho de los alcanos se encuentran presentes en la cera de la abeja, son usados en mayor parte para la calefacción o de uso culinario, pero cual es el verdadero propósito de este hidrocarburo, que es más lento a la reacción del ozono.

4.5.5 METANO

El metano es un hidrocarburo alifático perteneciente a la familia de los alcanos y uno de los compuestos orgánicos que en su mayoría es producido por organismos, directa o indirectamente. Es por este gas, de tanta importancia al igual que lo son las abejas para el medio ambiente y la conservación y desarrollo de la vida, que se produce un efecto sobre el clima. Y es verdaderamente resaltable, la producción de metano que tienen las plantas vivas que es más alto por diez o mil veces más, a diferencia de las plantas muertas.

El metano es un gas que en la atmosfera terrestre contribuye al efecto invernadero antropogénico en un 20%, y entre las fuentes de origen humano del metano, más del 50% corresponde a lo que sería la ganadería y hasta el 30% proviene de los cultivos de arroz. (Manual de biogás, 2011).

De igual manera, el metano no solo altera el ecosistema, en cuanto a ambiente, sino también el factor económico, pues tiene una respuesta que tiene que analizarse en efectos futuros y deben tomarse medidas para aquellos países que dependen de recursos naturales, en esta instancia, la apicultura, que trabaja directamente con las abejas y organizan el espacio para que se desplacen libremente sin percances.

4.5.6 COMPUESTOS ORGANOSULFURADOS

Estos compuestos se encuentran en la mayoría de muchos de los compuestos mas dulces, muchas veces se relacionan a los residuos y los contaminantes, es decir, los residuos que se encuentran presentes en un alimento y dada la diversidad de químicos que pueden hallarse, resulta siendo un aditivo, y puede causar mal olor a la miel, por lo que, es menester mencionar, que la miel que no ha sido adulterada, procura una conservación en su totalidad, mientras que a la miel que se le ha introducido cualquier contaminante en su proceso, de manera directa o indirecta, resulta siendo determinada como miel impura.

4.5.7 ALCOHOLES

Son nombrados de manera que se sustituye la terminación de los alcanos -ano por -ol. Y se toma como cadena principal la más larga que contenga el grupo hidroxilo y se numera otorgándole el localizador más bajo. Los alcoholes son ácidos, el hidrogeno del grupo -OH,

tiene un pKa de 16. Y sus puntos de fusión y ebullición son elevados debido a la formación de puentes de hidrogeno. (Química Organica, 2009).

4.5.8 COMPUESTOS ORGÁNICOS DE AZUFRE

Están presentes en el contenido de cenizas que se encuentra en la miel de mielada, es decir, esta resulta siendo más oscura y presenta cantidades más bajas de dextrosa que hacen que la miel posea mayor actividad microbiana, siendo de esta manera, el compuesto orgánico que por las características físico-químicas genera diferencias significativas con la miel floral.

4.6 NARIZ ELECTRÓNICA

La nariz electrónica es uno de los dispositivos en la actualidad, que permiten sustituir años de personas que se enfocaban en los estudios de reconocimiento de olores, promete ser un dispositivo que revoluciona y orienta las técnicas de reconocimiento con patrones y entiende procesos del olfato biológico por medio de un conjunto de sensores de gas que es capaz de reconocer aromas en el ambiente, por ello, es importante resaltar su importancia y la importancia de la historia en que se ha visto desarrollada, porque en la actualidad, aunque, no sean muchos los que suelen hacer empleo de estas narices, se avanza y se continua en diferentes ámbitos, no solo la parte agroindustrial o agrícola. (Moreno, 2009). También en la parte de la ingeniería se ha revolucionado el uso de estas nuevas tecnologías.

Así que se emplea para determinar los grados discriminados por la alteración de la miel en sus edulcorantes y la alimentación artificial, además de los índices de calidad de la miel.

4.7 VARIABLES DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA

Las variables pueden ser muchas, pues la tecnología avanza, y estas narices electrónicas pueden clasificar no solo olores, sino que detectan por medio de los sensores, las adulteraciones que han sido ejecutadas, es decir, que para medir y analizar la calidad de un producto debe ser analizada de manera que la nariz queda expuesta a las muestras que han sido recogidas y percibiendo, identificando y clasificando en comparación con otros tipos de miel. (Moreno, 2009). Pero los sensores usados pueden responder a las muestras y una de las variables es que puede que no sean determinadas de manera específica.

Por ello, es necesario que, a la hora de preparar las muestras, no se adicionen ni se alteren los productos a utilizar, para que los componentes volátiles se puedan obtener de las muestras por medio de sensores de gas. Y de esa manera poder estudiar los compuestos de la materia orgánica usada.

4.7.1 TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.

Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía cinética, que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que este se encuentra más «caliente»; es decir, que su temperatura es mayor. (Yanus, 2009)

4.7.2 HUMEDAD

La miel es un alimento de baja actividad acuosa, por ello, el contenido de agua depende del néctar a primera escala, y esto a su vez, depende del manejo apícola, es decir, de las condiciones de cosecha, las condiciones ambientales y del tratamiento posterior a la extracción. A la miel ser higroscópica, puede absorber el agua del ambiente, y como consecuencia, según Snowdon, citado en el artículo de Fattori, esto podría favorecer el desarrollo de levaduras, por lo que, a continuación, mostraré una tabla sobre la humedad en mieles florales y mielada.

Tabla 1. Humedad en mieles.

Tipo de miel	Humedad
Floral [g%]	13,4 – 22,9
Mielada [g%]	12,2 – 18,2

Por lo tanto, el exceso de agua podría adulterar o contaminar la miel.

4.7.3 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 componentes de un sistema embebido son los siguientes, en la parte central se encuentra el microprocesador, microcontrolador, DSP, etc. La CPU o unidad que aporta la capacidad de cómputo del sistema, pudiendo incluir memoria interna o externa, un micro con arquitectura específica según los requisitos.

El diseño de un producto que incorpora sistemas embebidos está orientado a minimizar los costos y maximizar la confiabilidad, pero también es imprescindible incorporar en el diseño consideraciones de seguridad, incluyendo funciones y protocolos criptográficos que protejan la información durante todas las fases. Los sistemas embebidos a menudo operan en un ambiente dedicado con condiciones operacionales y escenarios muy específicos.

Es importante que dichas condiciones y amenazas se tengan en cuenta cuando se diseñan las funciones de seguridad.

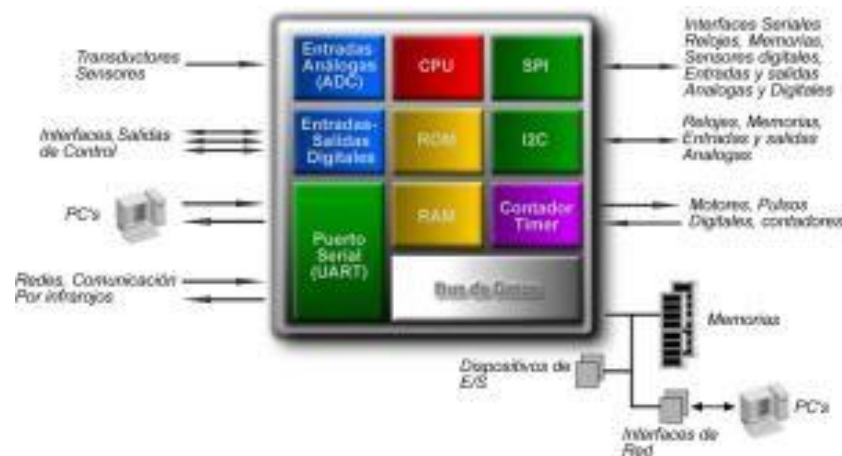


Figura 9. Estructura interna de un sistema embebido

[Imagen] <https://universodelsaber.wordpress.com/sistema-embebido/>

4.8.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS SISTEMAS EMBEBIDOS

Los sistemas embebidos suelen tener en una de sus partes una computadora con características especiales conocida como microcontrolador que viene a ser el cerebro del sistema, el cual incluye interfaces de entrada/salida en el mismo chip. Normalmente estos sistemas poseen un interfaz externo para efectuar un monitoreo del estado y hacer un diagnóstico del sistema.

Además, cabe reseñar que el uso de sistemas embebidos en productos complejos implica un desafío de la seguridad en TI para proteger la información contenida en el sistema embebido y también la que es transmitida desde y hacia el dispositivo por redes privadas o Internet. Por tanto, cabe incluir funciones criptográficas, diseño de protocolos y consultoría en análisis y verificación, así como servicios de pruebas de seguridad, así como evaluaciones específicas para sistemas embebidos.

- La confiabilidad, en inglés reliability $R(t)$, es la probabilidad de que el sistema trabaje correctamente dado que está funcionando en $t=0$.
- La mantenibilidad, en inglés Maintainability $M(d)$, es la probabilidad de que el sistema vuelva a trabajar correctamente a unidades de tiempo después de un fallo.
- La disponibilidad, en inglés Availability $A(t)$, es la probabilidad de que el sistema esté funcionando en el tiempo t .

- La seguridad informática: consiste en disponer de una comunicación confidencial y autenticada.
- La creación de un sistema confiable debe ser considerada desde un comienzo, no como una consideración posterior.
- Deben ser eficientes en cuanto a la energía, al tamaño de código, al peso y al costo.
- Están dedicados a ciertas aplicaciones.
- Interfaces de usuario dedicadas (sin ratón, keyboard y pantalla)

4.9 TEXAS INSTRUMENTS

Es una empresa estadounidense, de la industria electrónica que desarrolla y comercializa semiconductores y tecnología para ordenadores.

4.10 TIVA TM4C123G

La tarjeta de desarrollo Tiva TM4C123G es una plataforma que permite hacer por medio de un microcontrolador de Texas instruments que integra módulos con suspensión e interfaz usb. La tarjeta de evaluación Tiva TM C Series TM4C123G LaunchPad es una tarjeta de evaluación (EK-TM4C123GXL) de bajo costo. Esta plataforma de evaluación es para microcontroladores ARM® Cortex TM -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 siguiente tabla, (tomada de “TivaTM 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)

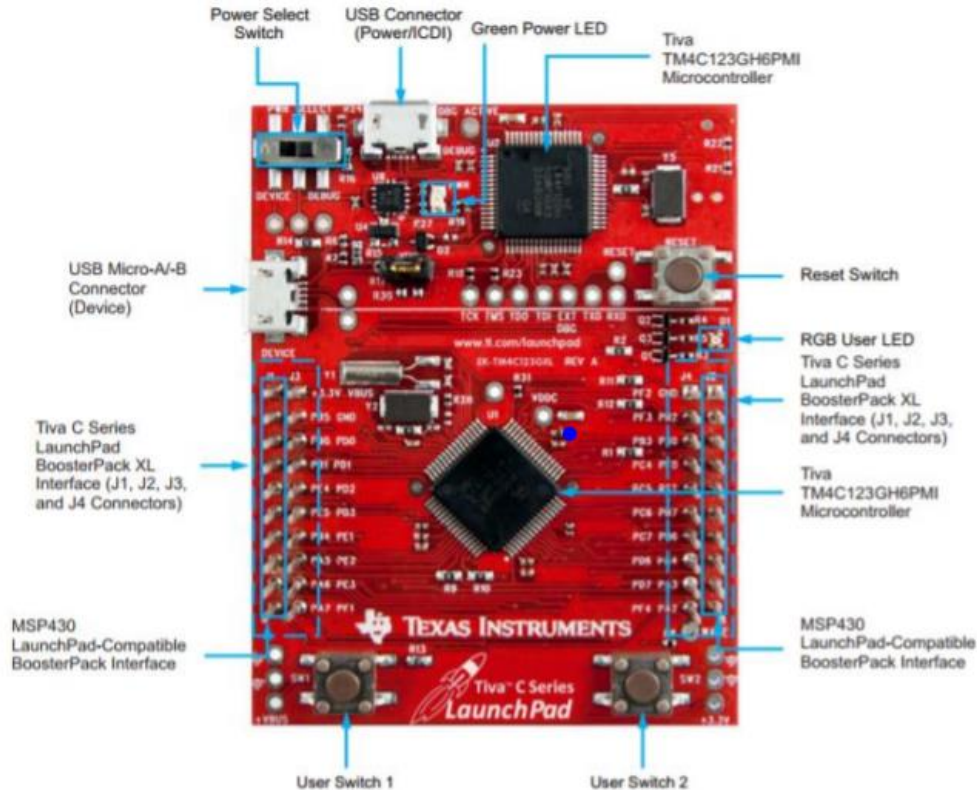


Figura 10. Tarjeta Tiva C Series LaunchPad

4.11 PYTHON

Python es un lenguaje de manera simple, rápida y versátil de desarrollo; que lo convierten en un lenguaje de propósito general multiplataforma orientado a objetos, de manera que permite realizar aplicaciones para Windows, entre otros servidores de red o incluso, páginas web. Es un lenguaje interpretado, por lo tanto, significa que no se necesita compilar el código fuente para poder ser ejecutado.

Entre sus características, podemos hallar: funciones y librerías, una multiplataforma, propósito general, lenguaje de alto nivel, *open source*, entre otras más.

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 °C ~ +55 °C
- Humedad: $\leq 95\%$ RH
- Contenido de oxígeno ambiental: 21%
- Consume menos de 150mA a 5V.



Figura 11. 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 12. 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, gasolineras, inclusive para algunos dispositivos como alcoholímetros, detección de humo de cigarrillo y sistemas contra incendios.



Figura 13. Sensor de gas MQ-5

4.12.4 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 14. Sensor de gas MQ-8

4.12.5 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 15. Sensor de gas MQ-9

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.

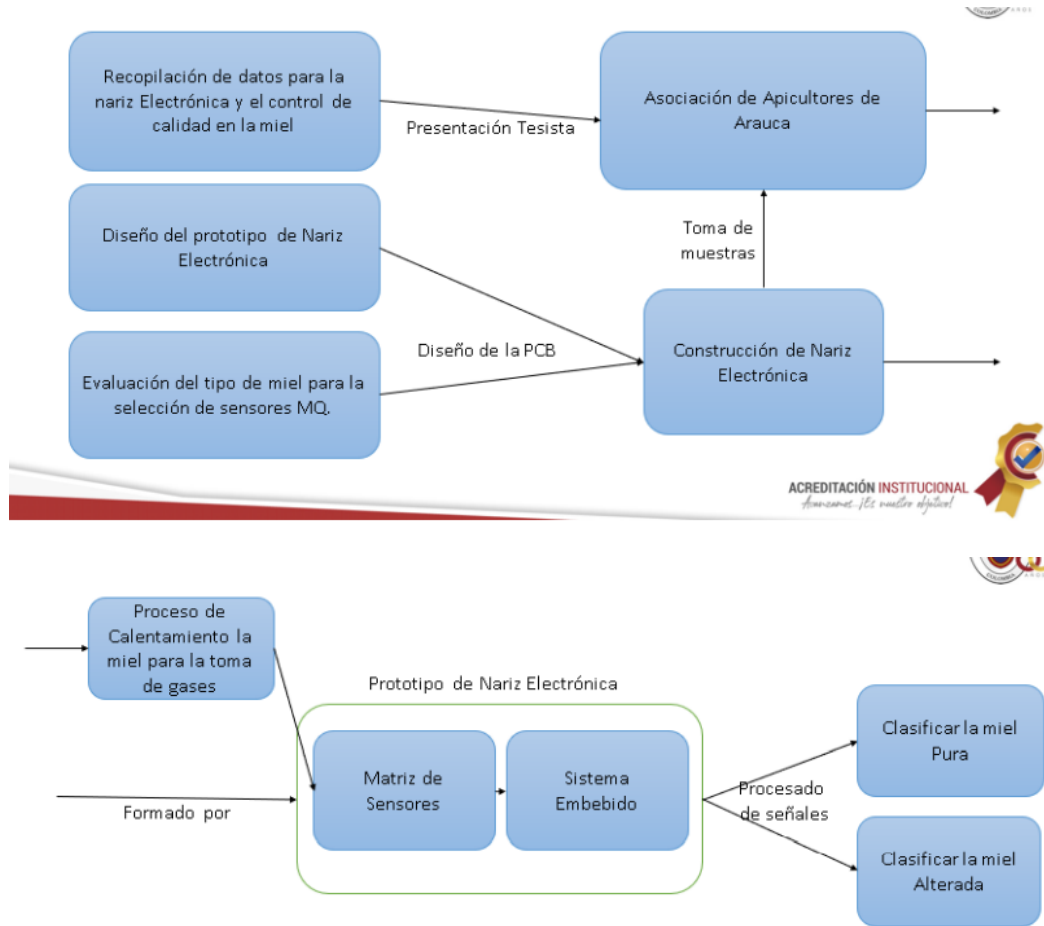


Figura 16. Metodología del proyecto

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 compuestos que están en la muestra de la miel pura. Se uso 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.

- COMPUESTOS AROMÁTICOS, ÓXIDO NITROSO, OZONO, HIDROGENO (H₂), OXÍGENO (O₂), DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂), ALCOHOLES, METANO Y ALIFÁTICOS

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 la miel pura y la que tiene edulcorantes para así leerlos con un sistema embebido donde posteriormente se procesaran los datos obtenidos.

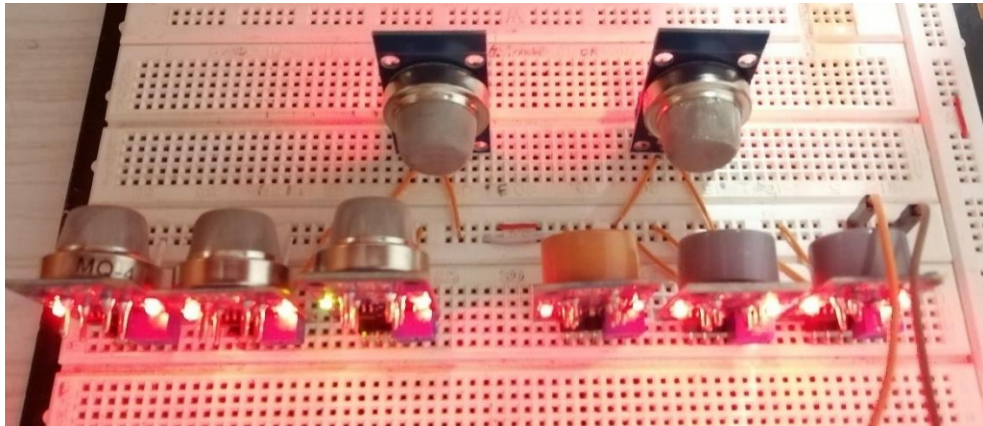


Figura 17. Sensores MQ, calentamiento de 24 horas

- 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 la miel. 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 de la miel pura. 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

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).



Figura 21. Secado de la cámara con calor

MUERTE POR CALOR: El proceso de esterilización por calor, se realiza a presión y alta temperatura ya que es muy seguro, no toxico 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 FUSIÓN 360 VERSIÓN DE 30 DÍAZ, 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 VERSIÓN DE PRUEBA) 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.

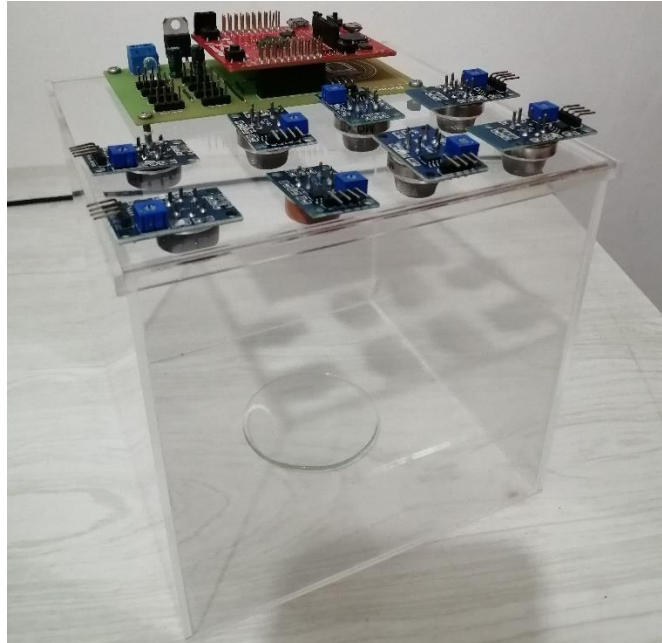


Figura 22. Prototipo de la nariz electrónica

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.

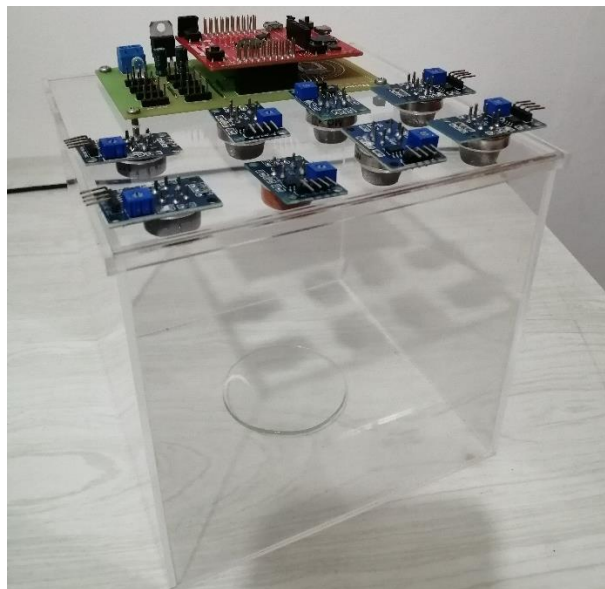


Figura 23. Diseño CAD de la cámara de gas

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.

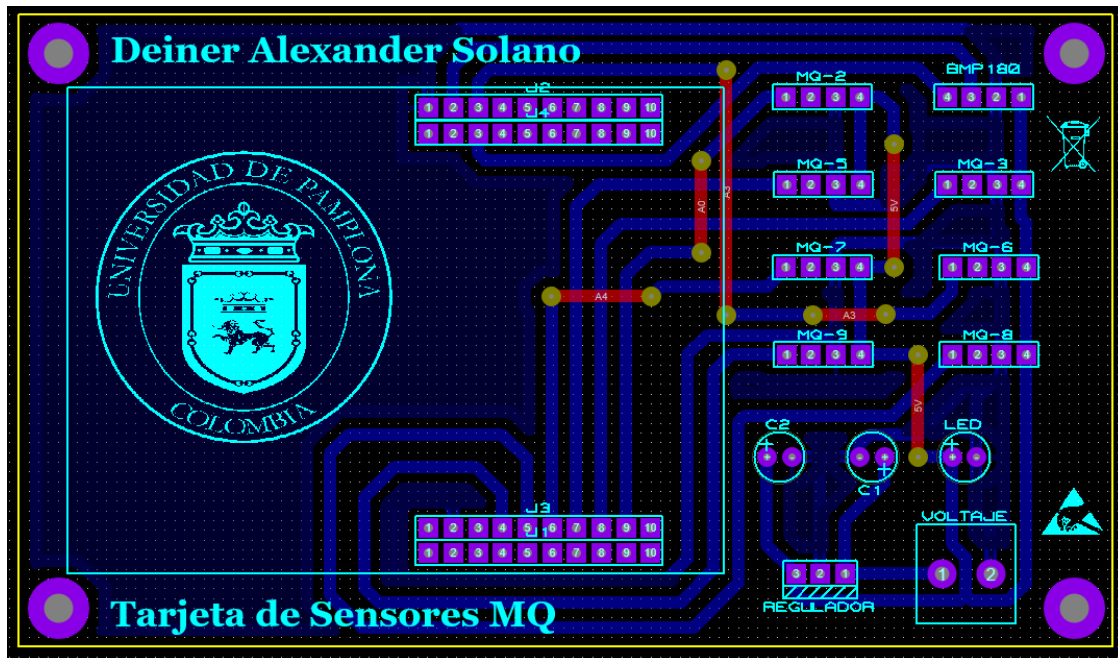


Figura 24. PCB Tarjeta de Sensores MQ

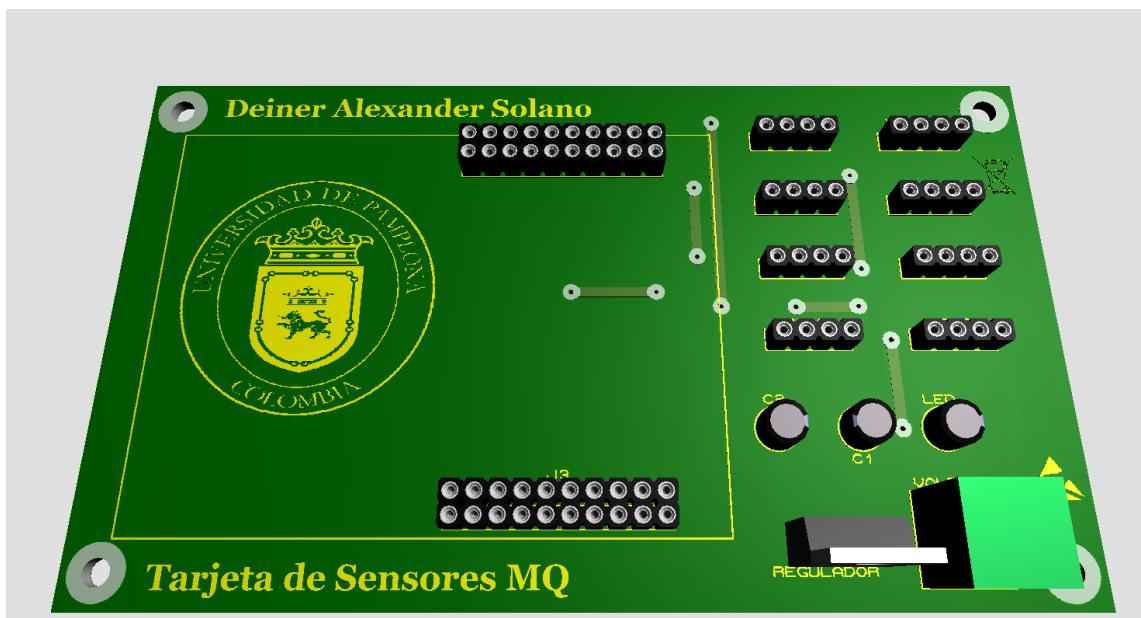


Figura 25. Diseño 3D de la Tarjeta de Sensores MQ

5.2.3 INSTRUMENTOS QUÍMICOS

- VIDRIO DE RELOJ

El vidrio de reloj tiene una forma convexa. Esto permite contener las muestras de la miel pura y las muestras de miel con edulcorantes, para luego ingresarlas a la nariz electrónica y adquirir todos sus compuestos y gases liberados con el fin de procesarlos y tener parámetros de diferencia entre las dos muestras. En la figura 26 se observa el vidrio de reloj con la miel pura. Este instrumento químico es sometido a estándares rígidos de esterilización y limpieza, para obtener una señal más pura y libre de otros contaminantes que modifiquen el comportamiento de la data y los compuestos volátiles.



Figura 26. Vidrio de reloj con la muestra de la miel pura

- 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 nuestras manos pueden contaminar la muestra con bacterias, por eso es de suma importancia el uso del guante de látex ya que reducen la probabilidad de transmisión de microorganismos a la muestra que se manipula.



Figura 27. Guantes de látex usados para manipular las muestras de la miel pura y con edulcorantes

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 de la miel pura y de la miel con edulcorantes. 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).

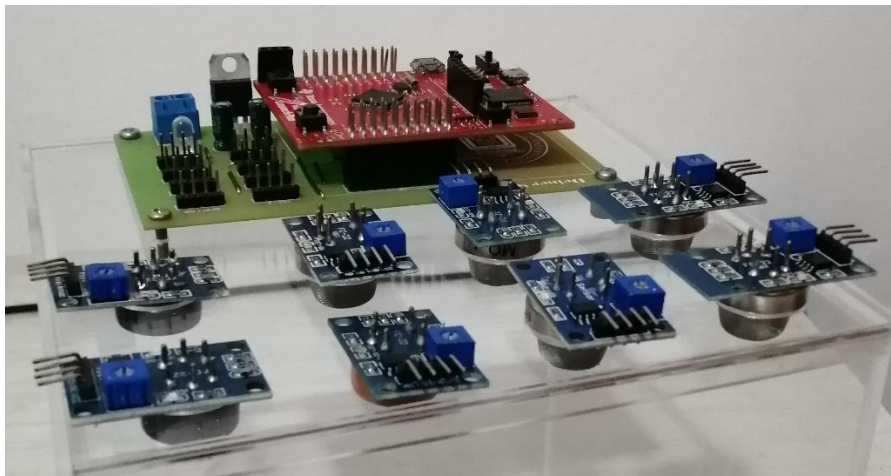


Figura 28. Matriz de sensores MQ

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

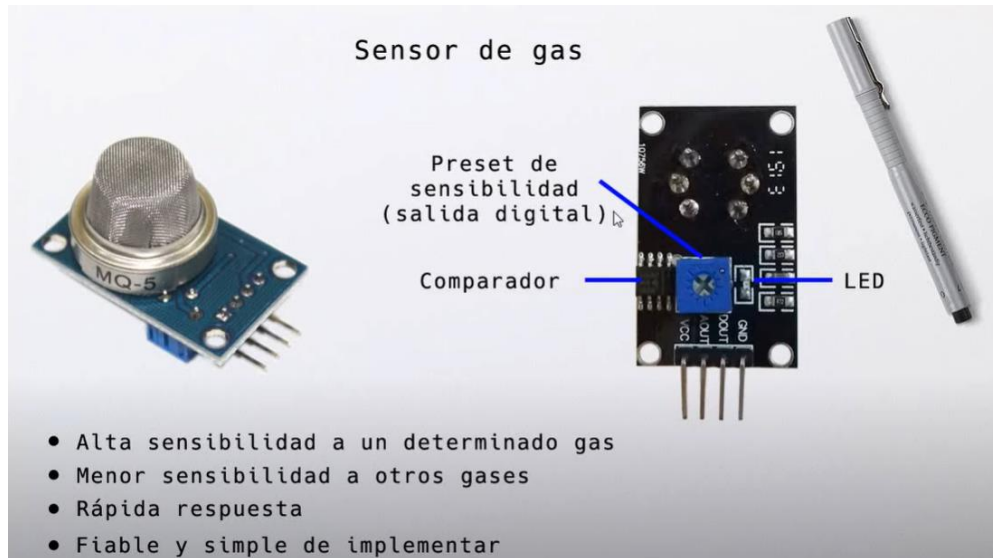


Figura 29. Sensor de gas MQ

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 la muestra de la miel es pura o tiene edulcorantes en su proceso de elaboración por las abejas.

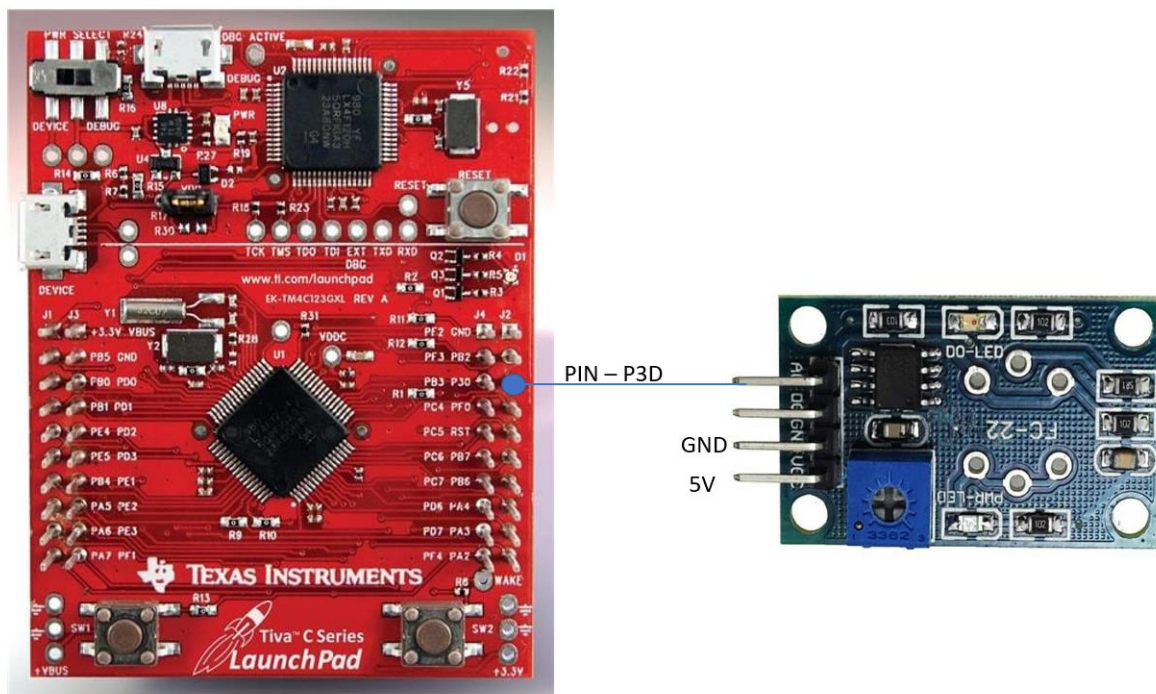


Figura 30. Esquema de conexión general para los módulos MQ

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.

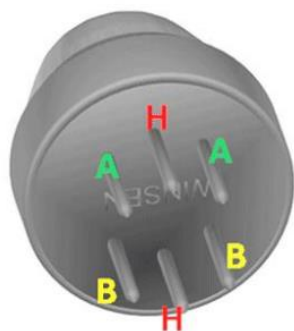


Figura 31. Sensor de gas serie MQ

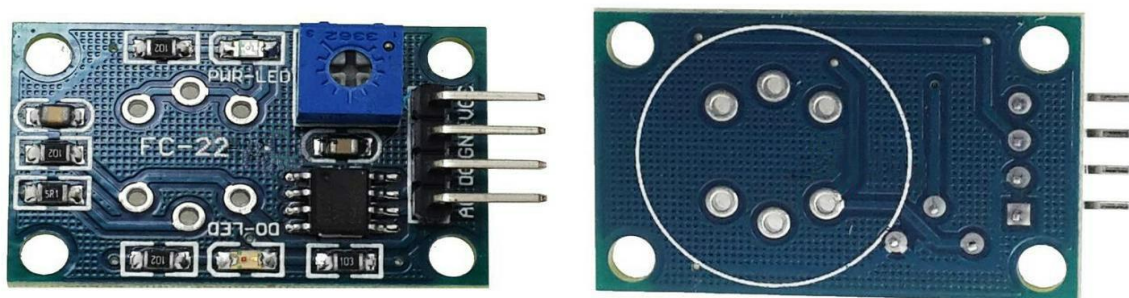


Figura 32. Tarjeta para sensores MQ

5.4 CÁLCULOS Y ECUACIONES PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES MQ

Los sensores MQ funcionan por medio de la variación eléctrica al gas que se detecta, se mide en la resistencia de carga (Ver Figura 33) en un divisor de voltaje simple.

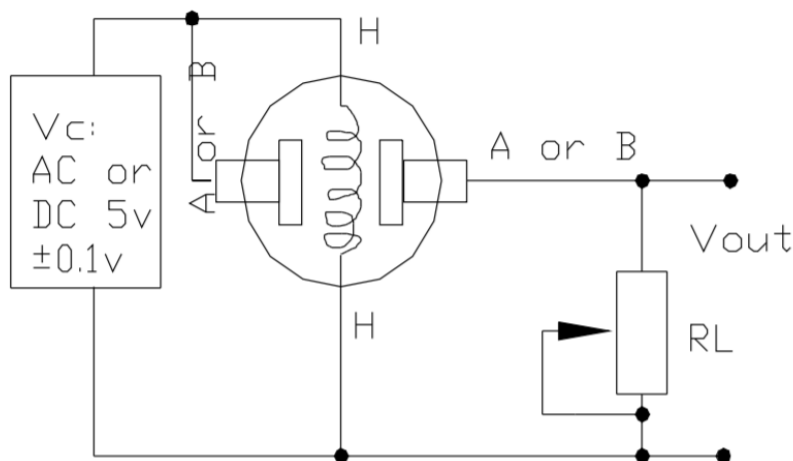


Figura 33. Estructura interna de los sensores MQ

La curva de características de los sensores MQ tienen una gráfica logarítmica (Ver Figura 34), no lineal donde se aprecian diferentes tipos de gases. Se puede apreciar la relación eje Y R_s/R_o y en el eje X las parte por millón (PPM).

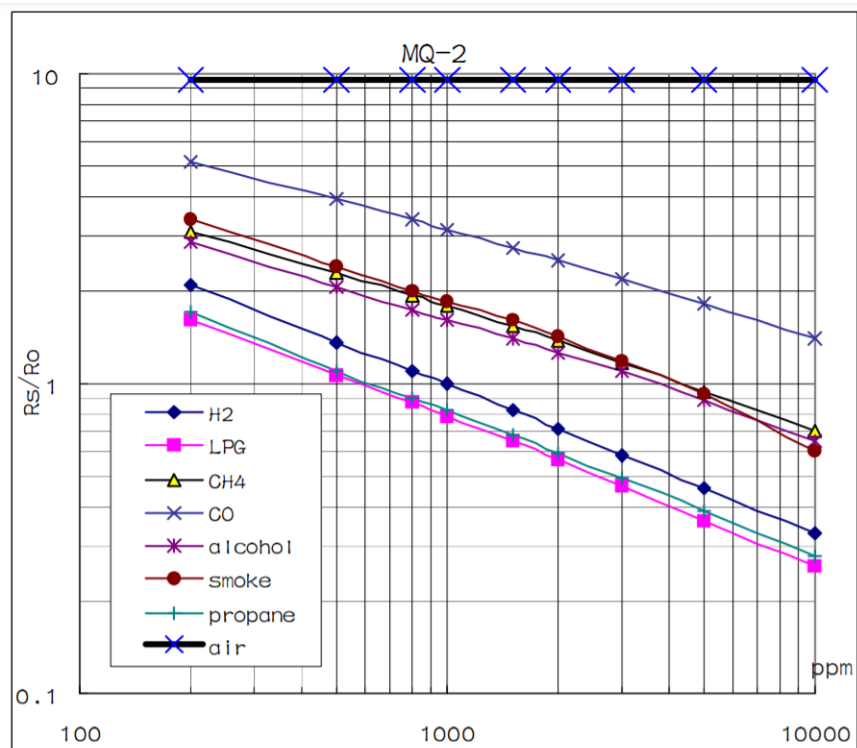


Figura 34. Curva característica del sensor MQ-2

Para realizar la respectiva calibración de los sensores se va a tomar como base el sensor MQ-2 y el gas H2(oxygeno). También debemos de tener definidos quienes son R_o y R_s .

- Ro: Es una resistencia del sensor en una concentración conocida, por ejemplo, el aire ambiente
- Rs: Es la resistencia del sensor que varía dependiendo de la concentración de un determinado gas

Los cálculos se van a realizar con la relación de Rs/Ro del aire ambiente, esto nos va a permitir hacer cálculos y convertirlos a partes por millón, observamos la curva del aire que nos da el datasheet del sensor MQ-2 y nos dirigimos al eje Y donde tenemos un valor de 9.8 o 9.83.

$$\frac{Rs}{Ro} = 9.83 \quad (1)$$

En este caso se podría hacer el cálculo manual para poner un valor ideal para nuestro sensor y tener una lectura adecuada, sin embargo, los módulos traen una resistencia RL, verificando el circuito y siguiendo el esquema a través de la PCB notamos que la resistencia de carga es de RL = 1K. Para calcular Ro en el aire limpio o ambiente se tiene la siguiente ecuación.

$$\frac{Rs}{RL} = \frac{V - Vs}{Vs} \quad (2)$$

La ecuación (2) la pasamos a un código en C, para adquirir los valores del sensor. La lectura analógica del sensor es convertida a voltaje, y también se hace un test 100 veces para tener una media, la cual es dividida en 100 para una mejor precisión en la data, adquirida por el aire ambiente donde se encuentra el sensor.

Abrimos el monitor serial para tomar la relación de RS/R0 y poder implementarlo en el código de partes por millón para tener el valor de los compuestos y guardarlos en un vector por cada sensor.

Tabla 4. 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

5.5 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, cuáles son los tipos de miel que tienen edulcorantes y compuestos artificiales que puedan modificar la pureza de la miel. Las muestras de miel pura tomada pertenecen a los apicultores de Arauca los cuales tienen procesos de fabricación muy artesanales y de buena calidad. La TIVA es un sistema

embebido encargado de adquirir los datos en tiempo real a través de Python para proyectar la graficas de los compuestos liberados de la miel en la cámara de gas.

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 35) 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 cálculo 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 más 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.

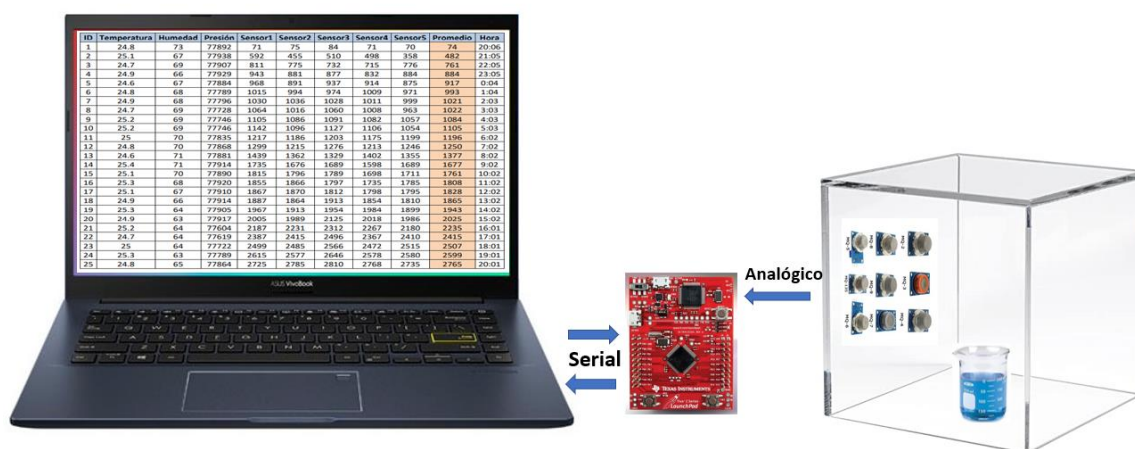


Figura 35. Sistema de adquisición de la nariz electrónica

0	86	60	90	89	87	84	88	85	84	97	87	84	81	88
1	204	210	214	210	213	208	207	209	215	215	213	207	200	215
2	108	112	102	109	103	134	105	110	102	101	105	109	106	108
3	102	99	98	99	110	99	101	101	99	99	101	103	99	99
4	154	154	158	156	157	139	167	157	168	152	155	155	154	159

Figura 36. Vectores adquiridos de los sensores MQ

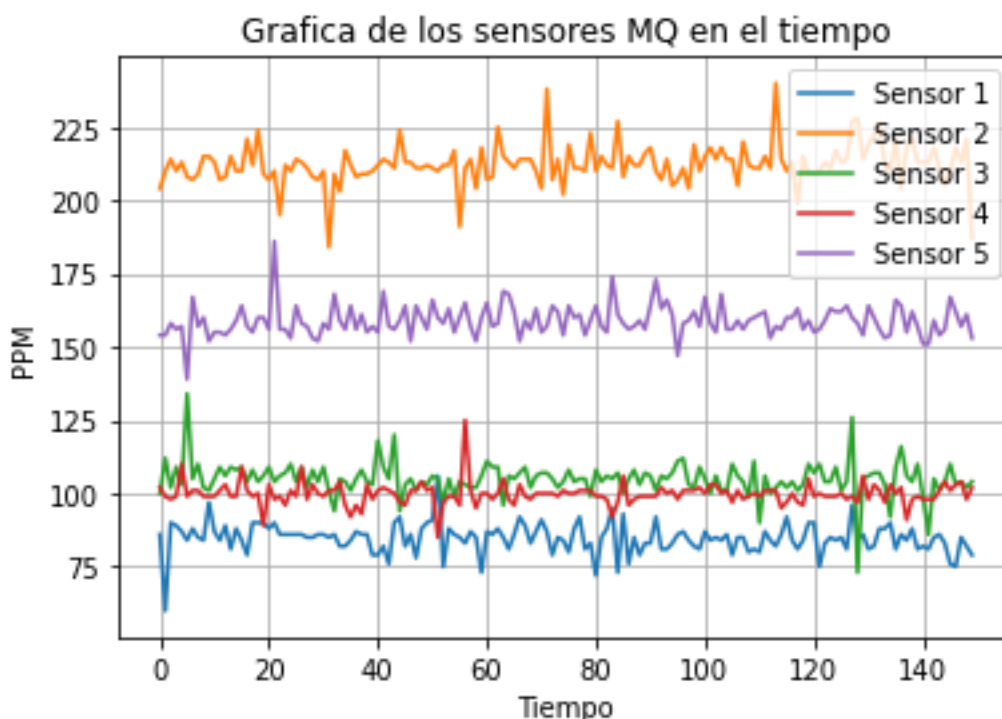


Figura 37. Grafica de los vectores adquiridos de los sensores MQ

El vector obtenido pertenece a los diferentes tipos de sensores MQ alojados en la nariz electrónica, 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 el rango de pureza de la miel y si tiene edulcorantes.

5.6 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 las muestras de la miel pura y la que tiene edulcorantes, para poder tener el vector de los compuestos. 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 38), 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.



Figura 38. Muerte por calor a la cámara de gas

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 para obtener diferentes vectores y realizar un análisis más profundo si los compuestos liberados tienen edulcorantes en la miel y así determinar que la miel es o no es pura.



Figura 39. Demostración del uso de la muestra (no calentada)

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.

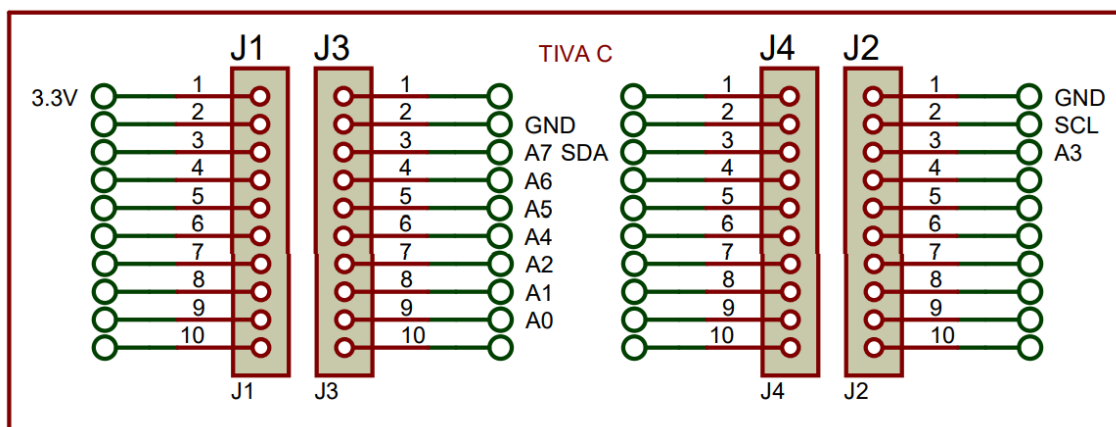


Figura 40. Esquema de conexiones de la TIVA TM4C123G

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.

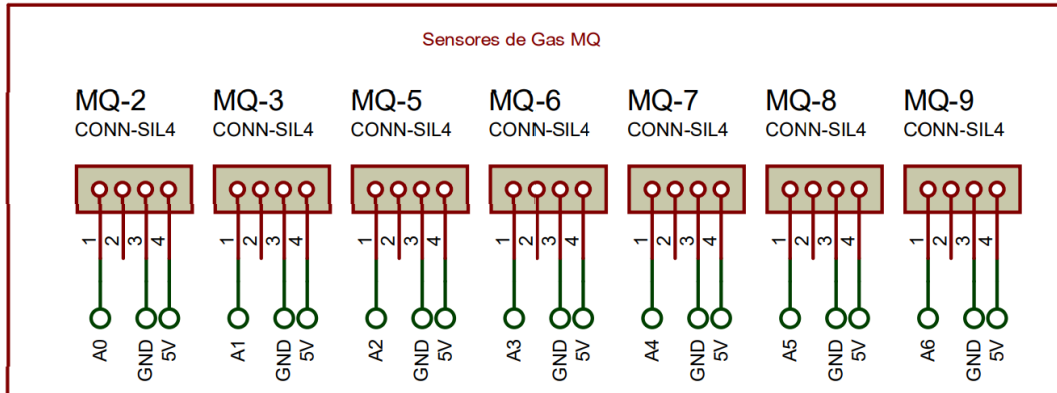


Figura 41. Esquema de conexiones de los sensores MQ

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.

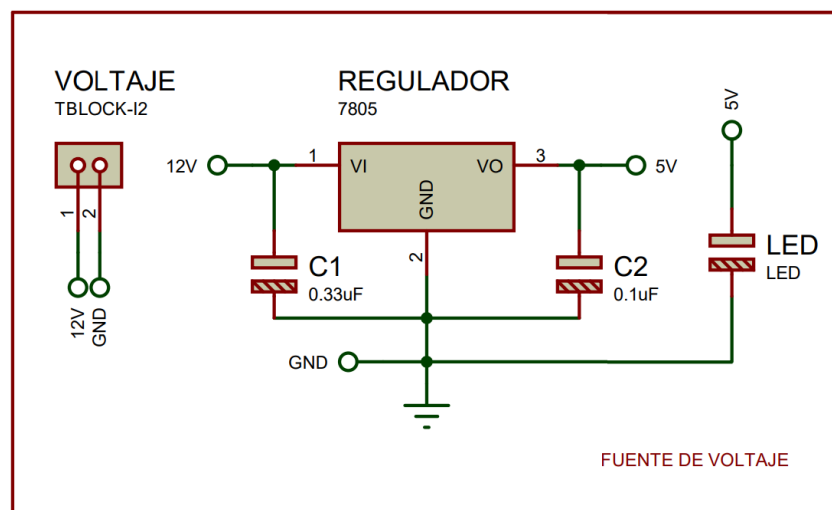


Figura 42. Esquema de la fuente de voltaje con regulador LM7805

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 real

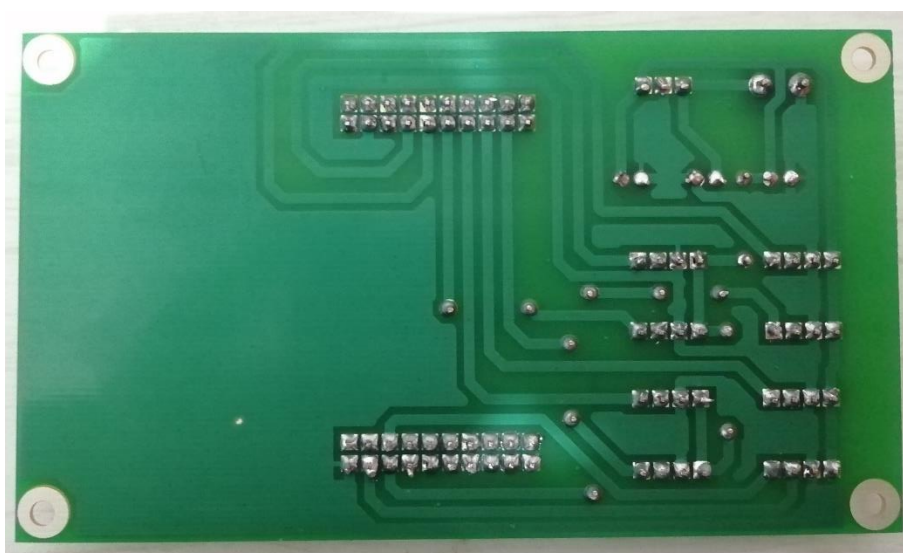


Figura 46. Circuito electrónico de la nariz parte trasera

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 47 se observa la nariz electrónica donde se pueden identificar los elementos que la componen.

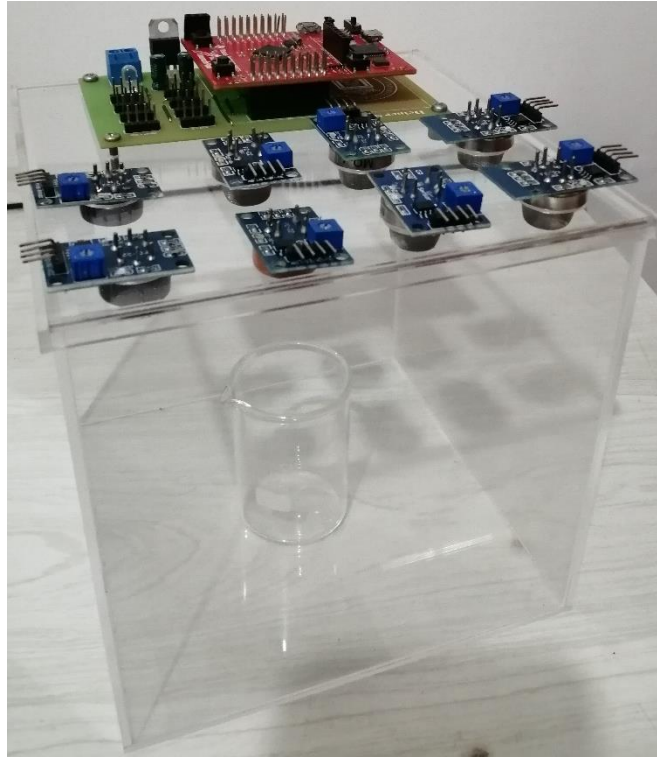


Figura 47. Nariz electrónica diseño CAD

En la figura 48 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.

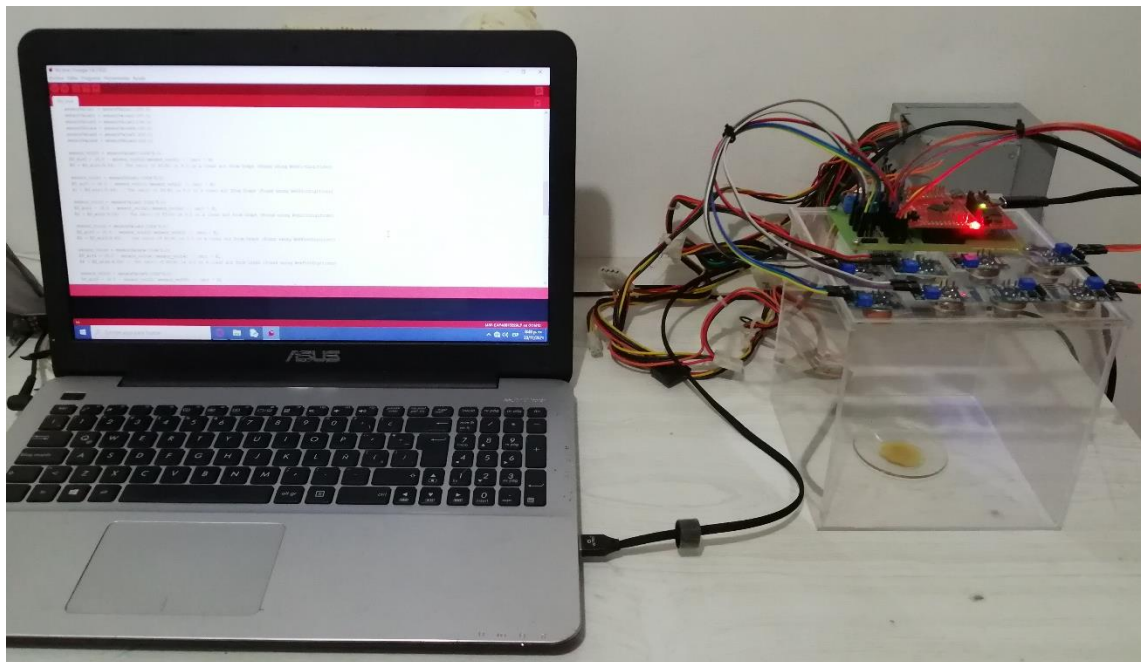


Figura 48. Nariz electrónica conectada a un equipo de computo

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 serigrafia)	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	50.000\$

	las reacciones y muestras dentro de la cámara de gas.	
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 de la miel, se preparó una muestra de la miel pura en el vidrio reloj para que se liberen los compuestos que esta tiene, hay que resaltar que la miel se calentó para una mejor evaporación de los gases que la componen y la matriz de sensores MQ los detecte.



Figura 49. Preparación de la muestra de miel

Para que la nariz electrónica detecte todos los compuestos liberados por la muestra, se procede a sellar la cámara (Ver Figura 50) 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
Miel Pura	5 ml	3.375 cm(cúbicos)
Miel Artificial	5 ml	3.375cm(cúbicos)

En la tabla se evidencia la cantidad de lixiviado utilizado en la cámara, esta muestra se vierte en un vidrio reloj. Cuando se vierte la miel en el instrumento químico se procura que esta esté caliente para que libere los gases y aromas de una forma más eficiente en la cual los sensores la puedan detectar. 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 50. Nariz electrónica funcionando

6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La nariz electrónica funciona de manera correcta durante varias horas sin problema, también se observó el comportamiento de los sensores de temperatura, presión barométrica y de gas los cuales son muy sensibles, con respecto a los sensores de gas podemos notar que las gráficas de los sensores muestran mediciones por encima y por abajo uno del otro, esto puede ser por la posición en que se encuentran.

Al final de la prueba para saber cuánta concentración de gases produjo la muestra de miel pura y miel con edulcorantes debemos usar el valor de la concentración de gas en promedio y restar el valor base el cual es donde inicia la prueba, por lo cual tenemos:

$$\text{PPM}(\text{MUESTRA}) - \text{PPM}(\text{AMBIENTE}) = \text{PPM}$$

La concentración promedio de los gases es de PPM

6.5 SENSIBILIDAD

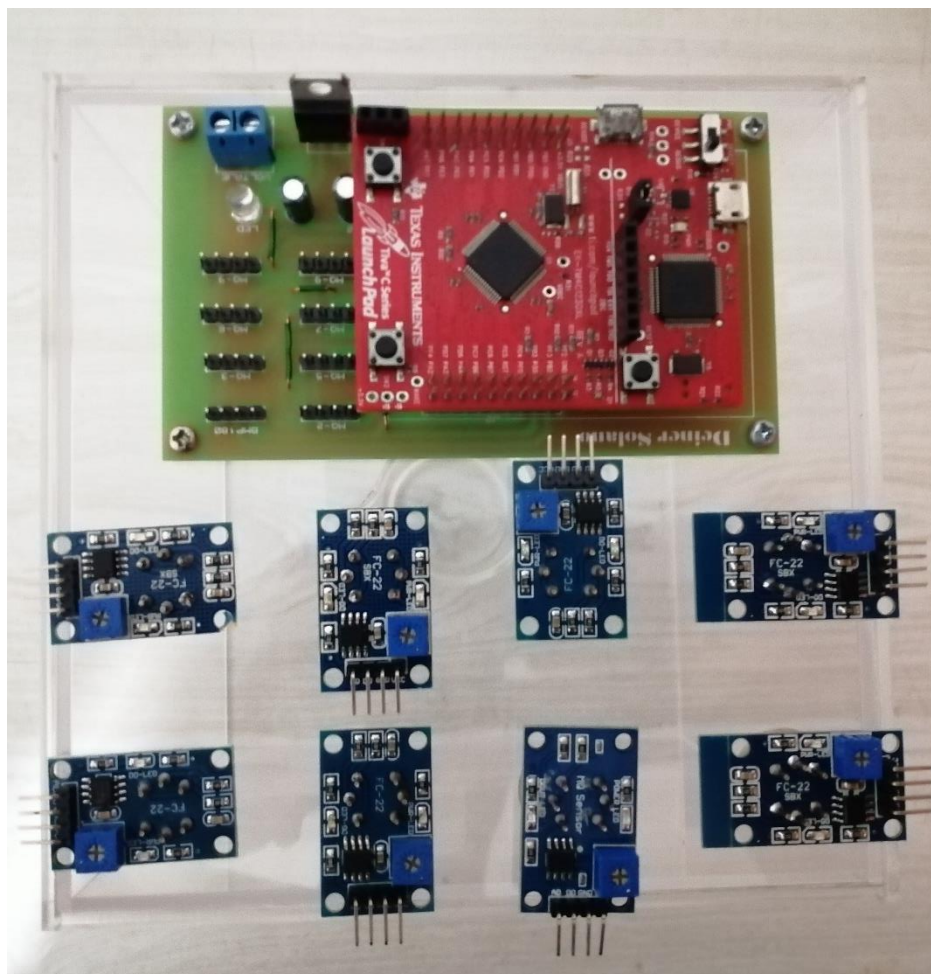


Figura 51. Posición de los sensores en la nariz electrónica

Para encontrar la sensibilidad de cada sensor se usa la variación de cada uno en un instante de tiempo y se divide en el valor inicial para encontrar el promedio ponderado.

$$\frac{\text{valor máximo} - \text{valor inicial}}{\text{valor inicial}} \quad (3)$$

La aplicamos para cada uno de los sensores en tres momentos diferentes 60 minutos, 2.5 horas y 5 horas:

60 MINUTOS

$$Sensor\ 1 = \frac{87 - 86}{86} = 0.011 \quad (4)$$

$$Sensor\ 2 = \frac{207 - 204}{204} = 0.014 \quad (5)$$

$$Sensor\ 3 = \frac{111 - 100}{100} = 0.11 \quad (6)$$

$$Sensor\ 4 = \frac{102 - 100}{100} = 0.02 \quad (7)$$

$$Sensor\ 5 = \frac{160 - 154}{154} = 0.038 \quad (8)$$

2.5 HORAS

$$Sensor\ 1 = \frac{90 - 86}{86} = 0.046 \quad (9)$$

$$Sensor\ 2 = \frac{217 - 204}{204} = 0.063 \quad (10)$$

$$Sensor\ 3 = \frac{115 - 100}{100} = 0.15 \quad (11)$$

$$Sensor\ 4 = \frac{107 - 102}{102} = 0.049 \quad (12)$$

$$Sensor\ 5 = \frac{156 - 154}{154} = 0.012 \quad (13)$$

5 HORAS

$$Sensor\ 1 = \frac{89 - 86}{86} = 0.034 \quad (14)$$

$$Sensor\ 2 = \frac{213 - 204}{204} = 0.044 \quad (15)$$

$$Sensor\ 3 = \frac{102 - 100}{100} = 0.02 \quad (16)$$

$$Sensor\ 4 = \frac{105 - 102}{102} = 0.029 \quad (17)$$

$$Sensor\ 5 = \frac{158 - 154}{154} = 0.025 \quad (18)$$

Tabla 5. Sensibilidad de los sensores MQ

N Sensor MQ	60 minutos	2.5 Horas	5 horas
Sensor 1	0.011	0.046	0.034
Sensor 2	0.014	0.063	0.044
Sensor 3	0.11	0.15	0.02
Sensor 4	0.02	0.049	0.029
Sensor 5	0.038	0.012	0.025

La sensibilidad en este caso indica la mayor o menor variación de la señal de salida por unidad de entrada y cuanto mayor sea la variación de la señal producida por una variación en la señal de entrada, el sensor es más sensible, por lo cual observamos que el sensor 1 en este caso tiene mayor sensibilidad en los tres momentos de la prueba y el sensor 3 es el que menor sensibilidad tiene de los 5 esto puede ser debido a los compuestos liberados por la miel pura y la miel con edulcorantes.

6.6 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS GENERADOS POR LA MIEL PURA Y LA MIEL CON EDULCORANTES

La nariz electrónica está diseñada para capturar los tipos de gases generados por la miel, que proviene de la asociación de apicultores de Arauca. 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 sensor, tomamos los puntos que están en rojo y los reemplazamos en las siguientes ecuaciones:

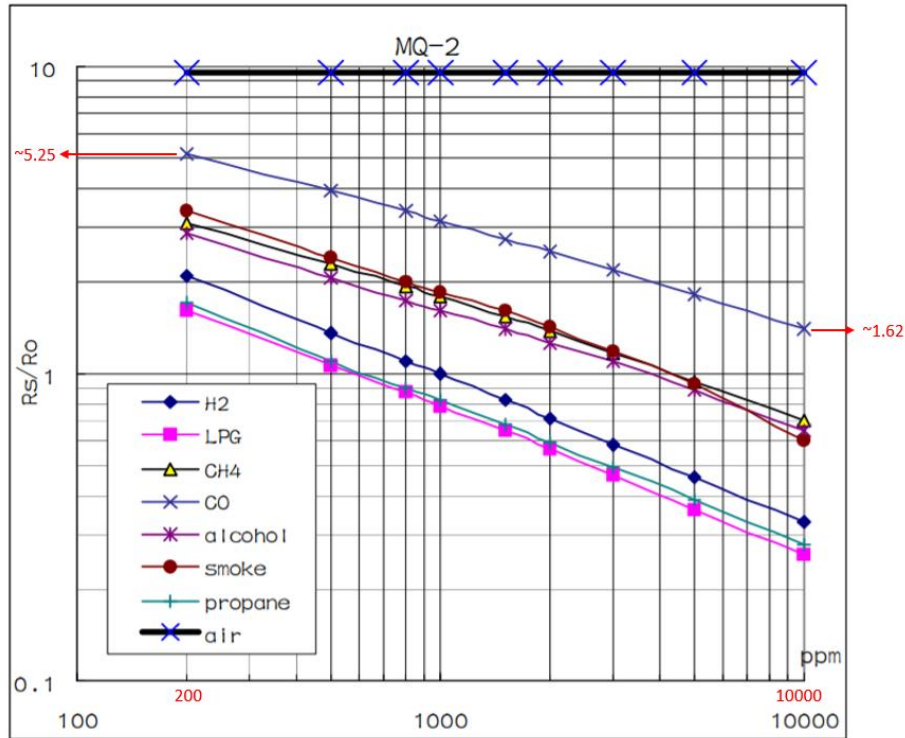


Figura 52. Curva característica de sensibilidad MQ-2

$$y_1 = 5.25, \quad y_2 = 1.62 \quad x_1 = 200 \quad x_2 = 10000 \quad (19)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(1.62) - \log_{10}(5.25)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.30 \quad (20)$$

$$CO_2(Curva) = \{2.3, 0.720, -0.30\} \quad (21)$$

El valor del CO_2 (curva) se añade en el algoritmo generado, para adquirir las PPM correctas.

Tabla 6. Gases sensados por el MQ-2

Sensor MQ-2	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS LPG (PPM)	60	90	79
GAS CO_2 (PPM)	86	88	95

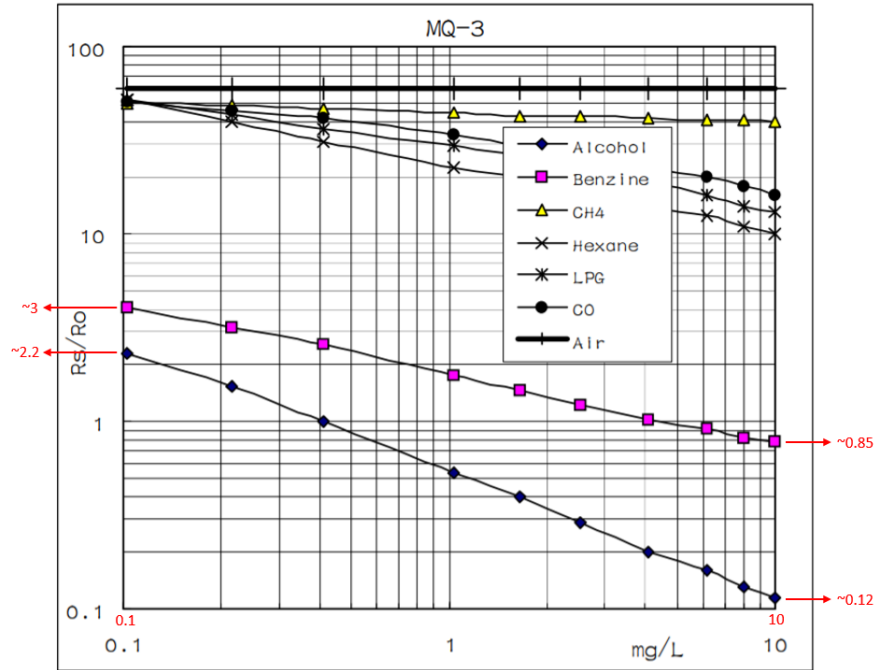


Figura 53. Curva característica de sensibilidad MQ-3

$$y1 = 3, \quad y2 = 0.85 \quad x1 = 0.1 \quad x2 = 10 \quad (22)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.85) - \log_{10}(3)}{\log_{10}(10) - \log_{10}(0.1)} = -0.27 \quad (23)$$

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

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

$$y1 = 2.2, \quad y2 = 0.12 \quad x1 = 0.1 \quad x2 = 10 \quad (24)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.12) - \log_{10}(2.2)}{\log_{10}(10) - \log_{10}(0.1)} = -0.63 \quad (25)$$

$$Alcohol(Curva) = \{2.3, 0.720, -0.30\} \quad (26)$$

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

Tabla 7. Gases sensados por el MQ-3

Sensor MQ-3	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS BENZINE (PPM)	204	209	214
GAS ALCOHOL (PPM)	210	217	213

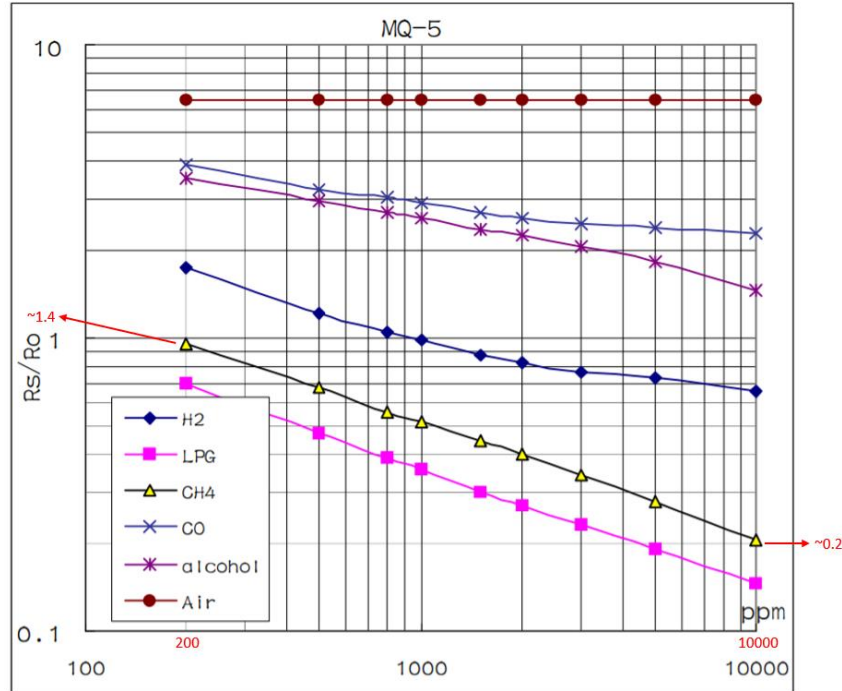


Figura 54. Curva característica de sensibilidad MQ-5

$$y1 = 1.4, \quad y2 = 0.2 \quad x1 = 200 \quad x2 = 10000 \quad (27)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.2) - \log_{10}(1.4)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.49 \quad (28)$$

$$CH_4 - Metano (Curva) = \{2.3, 0.14, -0.49\} \quad (29)$$

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

Tabla 8. Gases sensados por el MQ-5

Sensor MQ-5	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS CH ₄ (PPM)	109	100	96

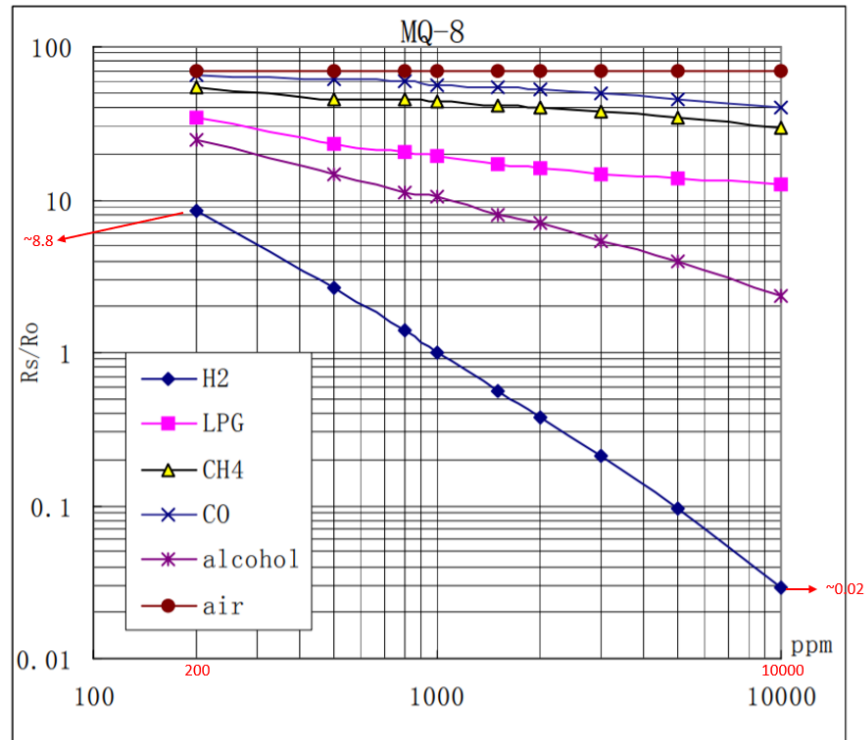


Figura 55. Curva característica de sensibilidad MQ-8

$$y1 = 8.8, \quad y2 = 0.02 \quad x1 = 200 \quad x2 = 10000 \quad (30)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.02) - \log_{10}(8.8)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -1.55 \quad (31)$$

$$H2 - Hidrogeno(Curva) = \{2.3, 0.944, -1.55\} \quad (32)$$

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

Tabla 9. Gases sensados por el MQ-8

Sensor MQ-8	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS H2 (PPM)	86	79	81

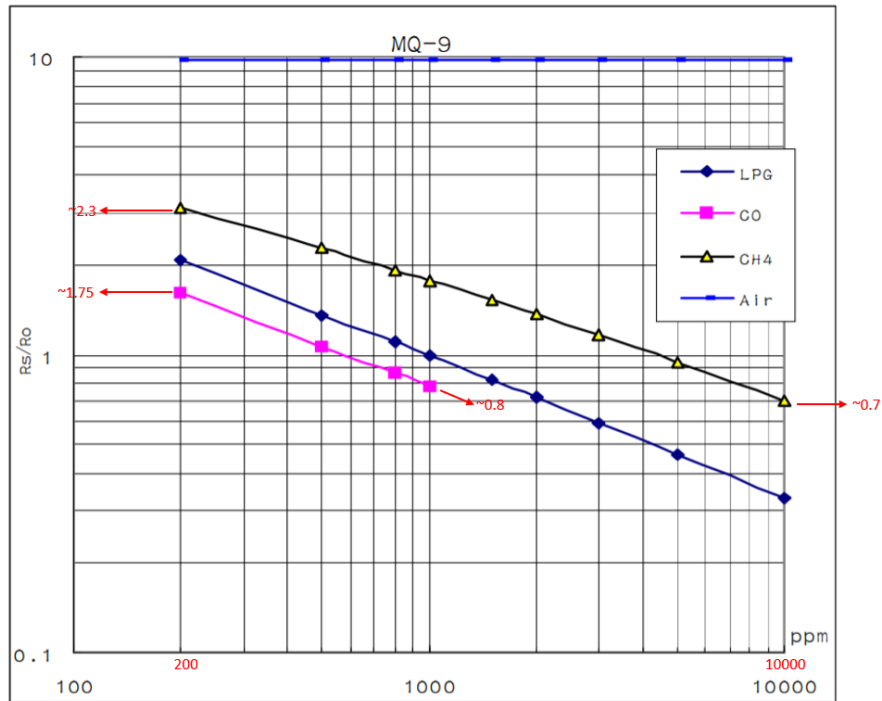


Figura 56. Curva característica de sensibilidad MQ-9

$$y1 = 1.75, \quad y2 = 0.8 \quad x1 = 200 \quad x2 = 10000 \quad (33)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.82) - \log_{10}(1.75)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.48 \quad (34)$$

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

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

$$y1 = 2.3, \quad y2 = 0.7 \quad x1 = 200 \quad x2 = 10000 \quad (35)$$

$$Curva\ Equivalente = \frac{\log_{10}(0.7) - \log_{10}(2.3)}{\log_{10}(10000) - \log_{10}(200)} = -0.30 \quad (36)$$

$$CH4 - Metano(Curva) = \{2.3, 0.36, -0.30\} \quad (37)$$

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

Tabla 10. Gases sensados por el MQ-9

Sensor MQ-9	30 Minutos	2.5 Horas	5 Horas
GAS CO (PPM)	99	94	100
GAS CH4 (PPM)	158	163	158

6.7 BÚSQUEDA DE PUREZA DE LA MIEL

Después de sensar la miel durante 5 horas, se procede a buscar patrones de comparación entre la miel pura y la miel con edulcorantes. Con el fin de tener características graficas que nos ayuden a determinar el rango de pureza de la miel.

En las siguientes graficas se pueden observar las comparaciones de los tipos de miel, estas se realizaron en Python gracias a su robustez con el manejo de datos y ploteo.

El sensor con más sensibilidad se puede evidenciar en la figura ## ya que este cuenta con una medición de gas Benzine que es el compuesto más concentrado en la muestra de la miel pura. 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 la miel pura y la miel artificial. 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.

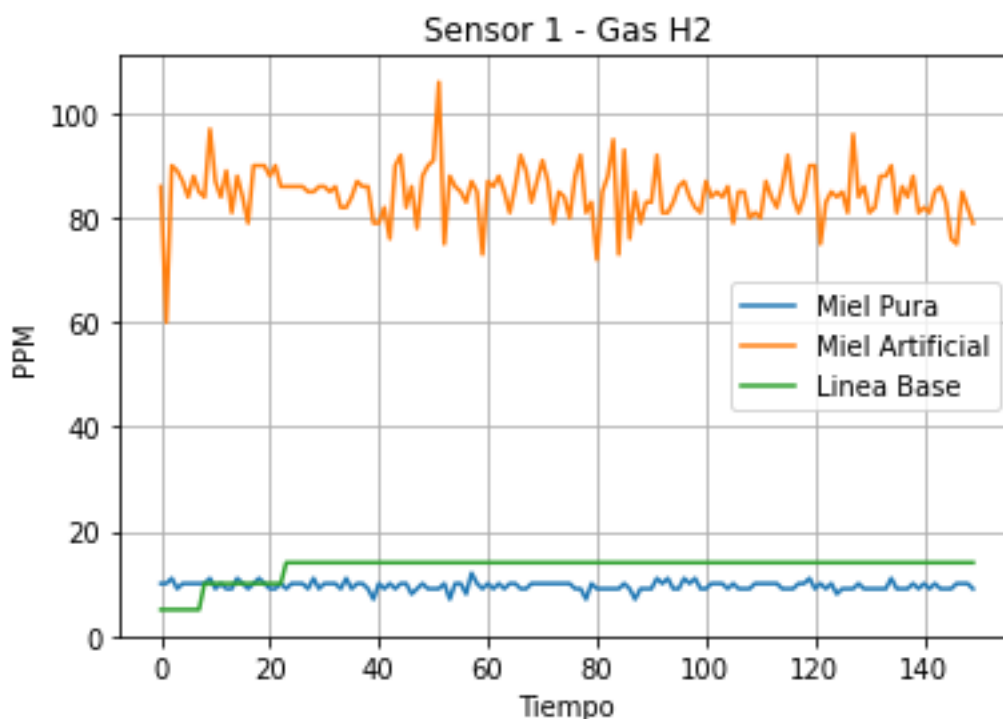


Figura 57. Compuestos de H2 (Hidrogeno) de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas

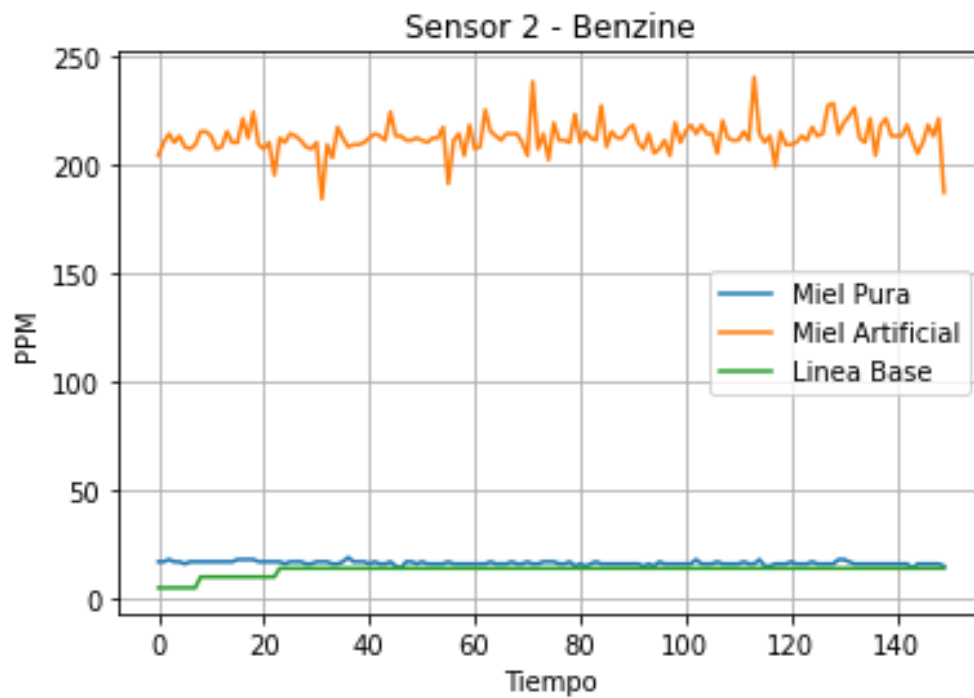


Figura 58. Compuesto de Benzine de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas

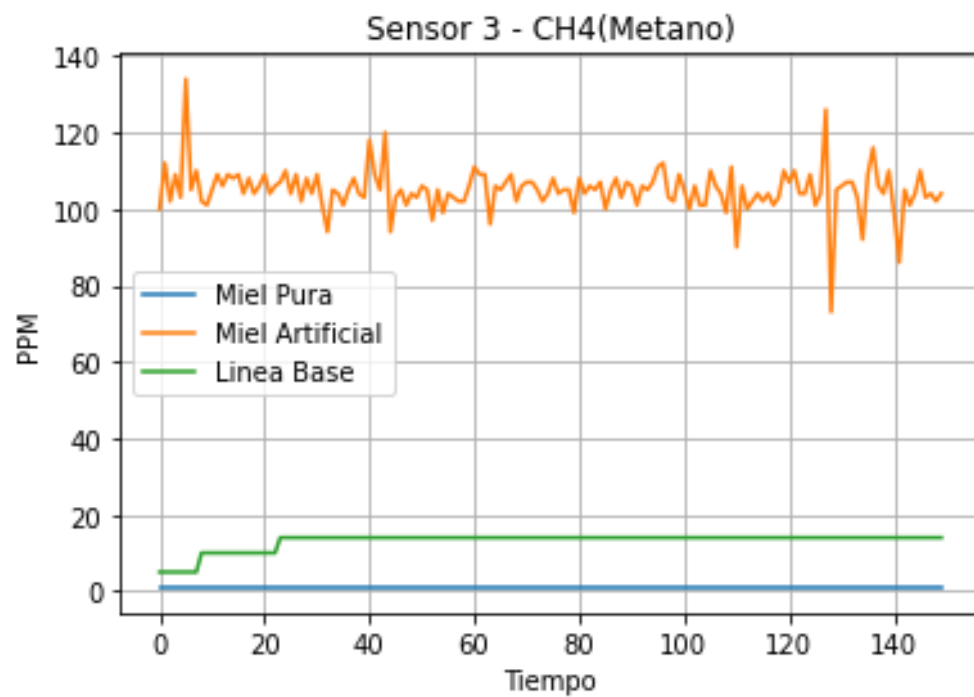


Figura 59. Compuesto de CH4 (Metano) de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas

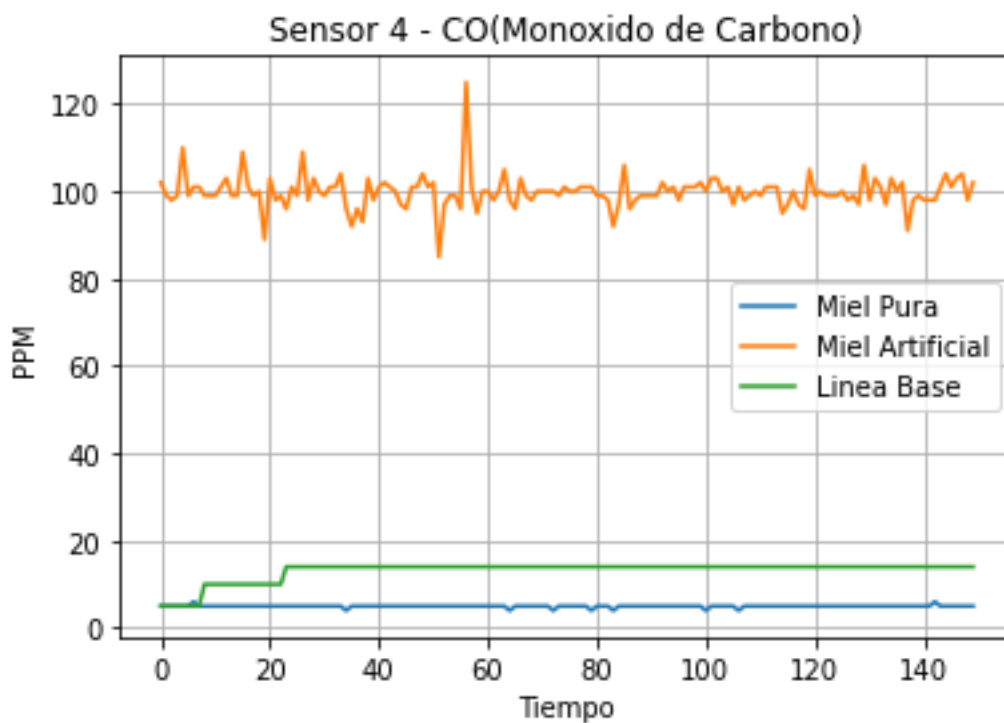


Figura 60. Compuesto de CO (Monóxido de carbono) de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas

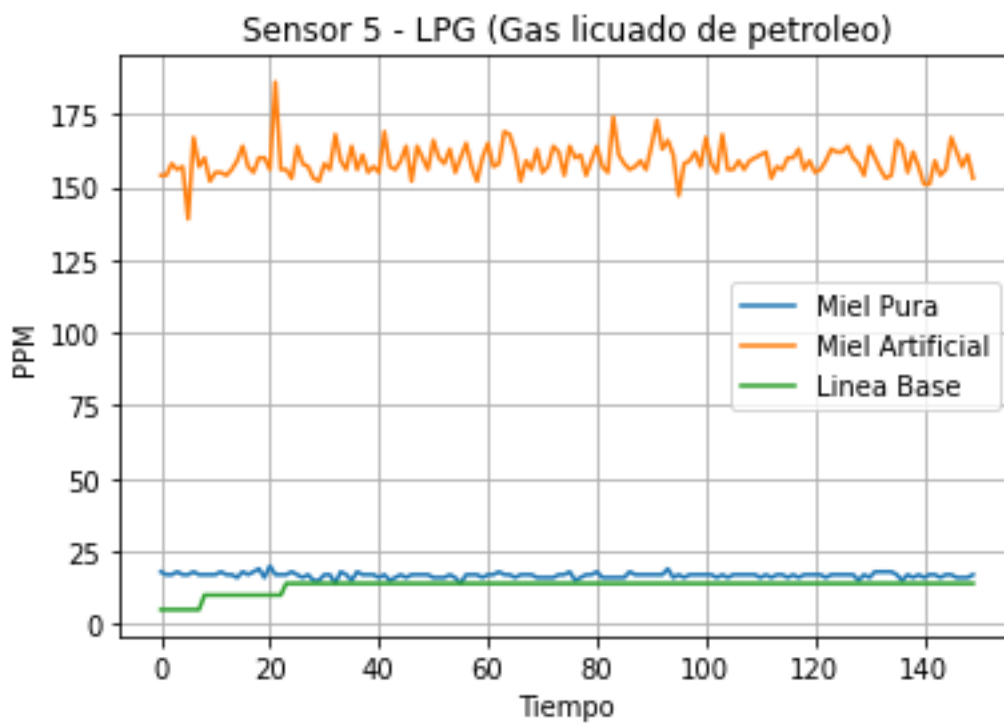


Figura 61. Compuesto LPG (Gas licuado de petróleo) de la miel artificial y la miel pura – 2.5 Horas

En las figuras (57, 58, 59, 60) se pueden observar los compuestos de H₂ (Hidrogeno), Benzine, Metano y CO (Monóxido de carbono) de la miel artificial y la miel pura. Sus características se pueden ver a simple vista ya que la miel pura mantiene una carga más constante y pequeña a comparación de la miel con edulcorantes. Con estas graficas podemos determinar que la miel con edulcorantes tiene componentes artificiales más concentrados que se pueden detectar con una matriz de sensores para clasificarlas.

7 CONCLUSIONES

La implementación del prototipo de nariz electrónica, indico positivamente el proceso de adquisición de los compuestos liberados por la miel pura y la miel con edulcorantes, durante la toma de estos datos se obtuvo una media de PPM.

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 a los campos de apicultores 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.

El resultado de este proyecto es saber si la miel es pura o es una miel con edulcorantes, la graficas que obtuvieron muestran un resultado muy particular donde el tipo de miel artificial tiene una cantidad de compuestos más concentrados y la miel pura no presenta picos ni porcentajes de compuestos elevados, al contrario se mantiene constante en el tiempo.

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, Maurico, 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.*

9 ANEXOS

En la figura 62, 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 62. Algoritmo para guardar los datos recibidos por el sistema embebido

En la figura 63, 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

miel_pura = np.loadtxt('datos_miel_pura.txt')
miel_artificial = np.loadtxt('datos_miel_arti.txt')
base = np.loadtxt('base.txt')

miel_pura = np.transpose(miel_pura)
miel_artificial = np.transpose(miel_artificial)
print(base)

plt.title('Sensor 5 - LPG (Gas licuado de petroleo)')
plt.xlabel('Tiempo')
plt.ylabel('PPM')
plt.grid('on')
plt.plot(miel_pura[4,0:150], label='Miel Pura')
plt.plot(miel_artificial[4,0:150], label='Miel Artificial')
plt.plot(base[2,0:150], label='Linea Base')
leg = plt.legend();
plt.show()
```

Figura 63. Código de procesamiento y ploteo de las señales