

SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA DETECCIÓN DEL
HUMO DE *CANNABIS* BASADO EN UNA NARIZ
ELECTRÓNICA COMO TERMINAL IOT

NATHALY JIMENEZ PEREZ
YULIANA ROJAS ORTEGA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2020

SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA DETECCIÓN DEL
HUMO DE *CANNABIS* BASADO EN NARICES
ELECTRÓNICAS COMO TERMINAL IoT

Nathaly Jiménez Pérez
Yuliana Rojas Ortega

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniera Electrónica

Director
Carlos Rodrigo Correa Cely
PhD. Polímeros

Codirector
Luisa Fernanda Ruiz Jiménez
MSc. Ingeniería de Telecomunicaciones

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2020

Dedicado a:

A DIOS primero por cumplir unas de las tantas promesas dichas, por darme la sabiduría y inteligencia de poder sacar la carrera adelante.

A mi madre por haber luchado día a día por mi formación como persona y como profesional; por aquellos consejos tan valiosos que hicieron de mi, alguien mejor.

A Mis amigos y compañeros de la carrera, por haber hecho de mi estadía en la universidad una experiencia agradable y reconfortante.

Nathaly Jiménez Pérez

Dedicado a:

A la persona que siempre ha estado en todos estos años y en general a lo largo de mi vida, a ti madre hermosa te debo donde estoy ahora gracias por seguir creyendo en mis sueños.

A mi padre, por apoyarme a pesar de las circunstancias.

A mis abuelas por darme su amor incondicionalmente, las adoro. Para una gran mujer que siempre fue un ejemplo en mi vida, nos volveremos a encontrar abuela Matilde.

Gracias ha todas las personas que fueron parte de este proceso, reímos, soñamos, lloramos y se logro.

Yuliana Rojas Ortega

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. JUSTIFICACIÓN	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GENERAL	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1. CANNABIS	18
3.2. NARICES ELECTRÓNICAS	21
3.3. INTERNET DE LAS COSAS (IoT)	22
4. HARDWARE Y SOFTWARE DEL PROTOTIPO	24
4.1. MÓDULO DE ENERGIZACIÓN	24
4.2. MÓDULO DE SENSADO	26
4.3. MÓDULO DE COMUNICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS	30
4.3.1 Microcontrolador ESP32	31
4.3.2 Adquisición de datos y comunicación	33
4.4. PROCESAMIENTO DE SEÑALES	34
4.4.1 Extracción de características	34
4.4.2 Selección de características	36
4.4.3 Entrenamiento de la nariz electrónica	36
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS	38

5.1. SELECCIÓN DEL SENSOR	38
5.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES - PCA.....	40
5.3. PLATAFORMA IoT.....	41
5.3.1 Servidor local o plataformas locales.....	41
5.3.2 Base de datos	43
5.3.3 Diseño.....	44
6. CONCLUSIONES	46
7. OBSERVACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de funcionamiento general de una nariz electrónica.....	22
Figura 2: Modelo de capas de las plataformas IoT.	23
Figura 3: Hardware de la nariz electrónica a) PCB del módulo de sensado b) PCB de módulo de adquisición de datos c) Batería.	24
Figura 4: PCB, esquema del módulo de alimentación de la nariz electrónica.....	25
Figura 5: Sensor MQ-135	28
Figura 6: Circuito de medida DC para los sensores de gas	29
Figura 7: Esquemático de los sensores	30
Figura 8: Diagrama a seguir de la adquisición y comunicación	30
Figura 9: Diagrama de funciones de la ESP32.	31
Figura 10: Microcontrolador ESP32.	32
Figura 11: Diagrama de bloques del enlace de comunicación hacia el servidor.	33
Figura 12: Curva de respuesta en conductancia de una señal de gas de un sensor.	35
Figura 13: PCA en dos dimensiones.....	37
Figura 14: Relación de Características Conductancia inicial con la varianza de cambio para a) sensor 1 b) sensor 2.....	39
Figura 15: Relación entre características extraídas de para las clases positivas u negativas para los sensor 10 y sensor 2.....	39
Figura 16: Imagen del software local de la nariz electrónica indicando los valores de PCA para el sensor 1.	40

Figura 17: Imagen del software local de la nariz electrónica indicando los valores de PCA para el sensor S1.....	41
Figura 18: Página CENTRO TIC.....	42
Figura 19: Activar el entorno virtual para la aplicación EN.....	42
Figura 20: Peticiones GET del servidor.....	43
Figura 21: Base de datos en DBeaver.	43
Figura 22: Inicio de la Pagina.....	44
Figura 23: Introducción de la pagina web	44
Figura 24: Monitoreo en tiempo real.	45
Figura 25: Pie de la Pagina.....	45

LISTA DE FIGURAS

Cuadro 1: Características disponibles en el procesamiento de datos de la nariz electrónica como dispositivo IoT	35
---	----

ANEXOS

ANEXO A.....	51
ANEXO B.....	52
ANEXO C.....	54
ANEXO D.....	58

RESUMEN

TÍTULO: SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA DETECCIÓN DEL HUMO DE *CANNABIS* BASADO EN UNA NARIZ ELECTRÓNICA COMO TERMINAL IOT *.

AUTORES: NATHALY JIMENEZ PEREZ, YULIANA ROJAS ORTEGA **

PALABRAS CLAVE: NARIZ ELECTRÓNICA, SENSORES DE GAS, INTERNET DE LAS COSAS, COMPONENTES PRINCIPALES (PCA).

DESCRIPCIÓN:

El consumo de sustancias psicoactivas, tal como la marihuana, en jóvenes adultos durante la época de estudios Universitarios ha sido un tema controversial, de gran impacto y que últimamente ha generado alta importancia en las universidades públicas colombianas. Por ende, en la Universidad Industrial de Santander se estableció un método de detección in situ de la presencia de volátiles durante el proceso de combustión del *cannabis*. Dicho método consta de un prototipo mínimo viable basado en una nariz electrónica de la cual se extraen datos de medición en diferentes niveles de concentración de determinado gas. A nivel hardware, el prototipo cuenta con un microcontrolador (ESP32), usado para la adquisición de datos y comunicación también con una matriz de sensores de gases interconectados con una plataforma IoT desarrollada por el grupo de investigación Radio Gis donde los datos son procesados con inteligencia artificial. Este procesamiento se realiza por medio de un análisis de reconocimiento de patrones usando análisis de componentes principales (PCA). Se adquirieron datos del prototipo en presencia de humo de *cannabis* como clase positiva y aire fresco (sin presencia de plantas en combustión) como control o clase negativa. Los resultados indican una clasificación con un error menor del 1% bajo condiciones de laboratorio.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: PhD. Carlos Rodrigo Correa Cely. Codirector: MSc, Luisa Fernanda Ruiz Jiménez.

ABSTRACT

TITLE: EXPERIMENTAL SYSTEM FOR THE DETECTION OF *CANNABIS* SMOKE BASED ON ELECTRONIC NOSE AS AN IOT TERMINAL *.

AUTHORS: NATHALY JIMENEZ PEREZ , YULIANA ROJAS ORTEGA**

KEY WORDS: ELECTRONIC NOSE, GAS SENSORS, IOT, PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA).

DESCRIPTION:

Psychoactive drugs, such marijuana, in continuing consumption by young adults during university studies is still a controversial topic with a huge impact, which Colombian's public universities has been gained concern. Due to so, in the Industrial University of Santander was established an in-situ method to detect volatile from cannabis in combustion. This method consists of a minimum viable prototype, which is based on an electronic nose, where a determinate gas is measured in different levels of concentration. In hardware terms, a microcontroller (ESP32) that is in charge of data acquisition and communication protocol compose the prototype with the chemical-sensor matrix interconnected to an IoT platform that was developed by the RadioGis research group. The data is processed using Artificial Intelligence, specifically principal component analysis. There was an acquisition of cannabis gas as a positive class, and fresh air (without any gases combustion) as the control or negative class. The results indicate a satisfactory classification whit error of less than 1% in laboratory conditions.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic Engineering and Telecommunications. Thesis Advisor: PhD. Carlos Rodrigo Correa Cely. Thesis Co-Advisor: MSc, Luisa Fernanda Ruiz Jiménez.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, en los años 60 las narices electrónicas han establecido una ayuda en la clasificación de aromas. Este hecho, fue uno de los motivos de su creación, debido al elevado costo en tiempo y en dinero que implicaba utilizar paneles de expertos en clasificación de aromas ¹. Posteriormente, en 1999 Gardner y Barlett definieron la nariz electrónica como un “Instrumento (..), capaz de analizar y reconocer aromas simples o complejos” ² .

Estos avances realizados a través de los años permitieron que se produjeran ventas masivas a nivel comercial. La mayoría de las narices electrónicas diseñadas fueron aplicadas por los gobiernos para la seguridad, equipos hospitalarios y en alimentos ^{3_4} .

En la actualidad, las investigaciones enfocadas al uso de la nariz electrónica para la detección de *cannabis* solo han sido encaminadas en comprobar su utilidad, costo y velocidad para el apoyo a la prevención de la salud e identificación de drogas ^{5_6} .

En Colombia, ha avanzado en el proceso de regulación de la utilización de los derivados cannabinoides para uso terapéutico. Las políticas de legislación en Colombia están sustentadas en la prohibición de la dosis mínima ⁷.

¹ I. MORENO, R. CABALLERO, R. G. F. M. A. J. La nariz electrónica: Estado del arte. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI 6, 3 (2009), 76 91.

² GARDNER Julian W., P. N. B. Electronic Noses. Principles and Applications. 3 1999.

³ ANDREAS VOSS, Katharina Witt, T. K. W. P. A. E. P. R., and BÄR, K.-J. Detecting cannabis use on the human skin surface via an electronic nose system. 13256–13272.

⁴ DURÁN, C., G. O. H. M. Electronic nose to determine the maturity index of the tree

⁵ HADDI, Z., A. A. A. H. E. B. N. L. E. . B. B. A portable electronic nose system

for the identification of cannabis-based drugs. Sensors and Actuators, B: Chemical 155 (2011), 456 463.

⁶ Op. Cit. ANDREAS VOSS,.

⁷ DE EDUCACIÓN NACIONAL, M. República de Colombia.

Según el estudio epidemiológico andino sobre consumo de drogas en la población universitaria, realizado en 2016, “La prevalencia de último año de consumo de marihuana entre los universitarios de Colombia registró un aumento estadísticamente significativo, con tasas de 15,1% en 2012 y de 20,8% en 2016” siendo así lo que más se consume en las universidades ⁸.

Además, el estudio también demostró el aumento progresivo de su consumo a través del tiempo, manifestándose que se ha duplicado su uso en siete años. Así mismo, 4 de cada 10 universitarios no percibe un gran riesgo en el uso frecuente de esta droga y 7 de cada 10 estudiantes consideran que es fácil conseguir marihuana. La marihuana es la sustancia más consumida por esta población, seguida por el LSD ⁹

Hasta el momento, la detección de cannabis con el uso de dispositivos como la nariz electrónica, demuestra la posibilidad que esta tecnología tiene para ser aplicada en la identificación de drogas ilegales¹⁰ - ¹¹. Por consiguiente, este proyecto aborda la implementación de un prototipo de nariz electrónica para la detección de cannabis utilizando una plataforma IoT (Internet of Things) e inteligencia artificial.

⁸ (UNODC), O. D. L. N. U. C. L. D. Y. E. D. Informe mundial sobre las drogas. Disponible en: <https://www.unodc.org/documents/wdr2015/World Drug Report 2015 Spanish .pdf>, 2015.

⁹ ON DRUGS, U. N. O., and UNODC, C. III estudio epidemiológico andino sobre consumo de drogas en la población universitaria de Colombia, 2016.

¹⁰ HADDI, Z., A. A. A. H. E. B. N. L. E. . B. B. A portable electronic nose system for the identification of cannabis-based drugs. *Sensors and Actuators, B: Chemical* 155 (2011), 456-463.

¹¹ ANDREAS VOSS, Katharina Witt, T. K. W. P. A. E. P. R., and BÄR, K.-J. Detecting cannabis use on the human skin surface via an electronic nose system. 13256–13272.

1. JUSTIFICACIÓN

Anteriormente, en la universidad se han realizado campañas dirigidas a una comunidad universitaria sana, libre de drogas y de contaminación. Mediante el acuerdo No. 066 de agosto de 2010, la universidad adoptó medidas para preservar la salud y bienestar de la comunidad UIS y demás personas que visiten la institución, una de estas estrategias fue “UIS libre de drogas”, en la que los directivos, trabajadores, profesores y estudiantes se concientizaron por la salud, el bienestar universitario y el cuidado del ambiente.

Tal es el caso, que programas como SER-UIS implementado desde 2008 mediante la resolución N 294 enfocada en desarrollar acciones educativo-preventivas frente el consumo de sustancias psicoactivas en la universidad.

Por otro lado, el incremento de consumidores de marihuana desde el 2016 ha aumentado, en aproximadamente un 16 por ciento, según cifras de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito¹² el cannabis es la droga más usada en el mundo¹³.

Sin duda alguna, el consumo excesivo de drogas en adolescentes conduce a un círculo vicioso en donde, se ven expuestos a una ausencia social causada por las bajas relaciones interpersonales asimismo del nivel socioeconómico¹⁴.

Además de traer consecuencias para quienes lo consumen, se presentan efectos secundarios en los llamados fumadores pasivos. Según estudios realizados por el

¹² ON DRUGS, U. N. O., and UNODC, C. III estudio epidemiológico andino sobre consumo de drogas en la población universitaria de Colombia, 2016.

¹³ DE LAS NACIONES UNIDAS CONTRA LA DROGA Y EL DELITO, O. Resumen, conclusiones y consecuencias.

¹⁴ DUKE, N. N. Adolescent Adversity and Concurrent Tobacco, Alcohol, and Marijuana Use. 2018.

profesor y biólogo de la división de cardiología de la Universidad de California en San Francisco, Matthew Springer demostró que, al menos en ratas, solo un minuto de exposición al humo inhalado de la marihuana hace que sea más difícil para las arterias de las ratas, expandirse y permitir un flujo saludable de sangre causando que, las arterias tarden 90 minutos en recuperarse en comparación con los 30 minutos con el humo del cigarrillo¹⁵.

Por lo anterior, se ha planteado un sistema de detección que permita detectar la presencia de cannabis en combustión, a partir del establecimiento del umbral de medición.

¹⁵ ORTEGA-Welch, M. Are there risks from secondhand marijuana smoke? early science says yes.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo experimental para la detección de volátiles emanados durante la combustión de cannabis en zona abierta a través de una nariz electrónica conectada en la plataforma IoT del grupo de investigación RadioGis.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un módulo de nariz electrónica que se conecta a través de la plataforma IoT de grupo de investigación RadioGis para la adquisición de datos.
- Analizar los datos adquiridos en presencia del humo de cannabis de otros olores por medio del sistema de reconocimiento de patrones de la nariz electrónica.
- Evaluar el prototipo detector de volátiles emanados durante la combustión de cannabis en las instalaciones de la escuela E3T en condiciones de campo ¹⁶.

¹⁶ Debido a la situación de presencia mundial (CoVid-19) la segunda evaluación del prototipo no se desarrolló en las instalaciones de la E3T debido a que las condiciones de campo difieren de lo esperado. Cumpliendo con lo establecido de ley general de cuarentena, la evaluación del prototipo siguió su curso en condiciones al aire libre como método para verificar funcionamiento electrónico a nivel hardware y se concluye el funcionamiento en la detección de *cannabis* deducido de la primera evaluación.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. CANNABIS

La marihuana, llamada científicamente como *cannabis sativa*, es conocida por sus altos componentes químicos de los cuales se pueden llegar a percibir por lo menos 60 cannabinoides, muchos de ellos únicos en su especie.

Esto es, entre los más importantes debido a su efecto psicoactivo se encuentra el delta-9tetrahidrocannabinol (THC), el cannabinol y el cannabidiol. Una de las formas de consumo del *cannabis* es el hachís, adquirido del líquido resinoso de la planta, también se encuentra como un triturado seco de flores, tallos y hojas, así como en aceite.

En igual forma, se consume fumada, mezclada con tabaco o en vaporizadores. Usualmente el *cannabis* contiene entre 1 -5% de THC ¹⁷. Asimismo, proporciona un efecto psicológico en el cerebro, el cual, se une a los receptores cannabinoides en todo el cuerpo y a las partes del cerebro que son responsables de la coordinación, la memoria, el dolor, el placer, el pensamiento y la percepción del tiempo.

Otra forma de auto-administración más común de la marihuana y el hachís consiste en fumarlos. Durante el pirólisis se liberan en el humo más de 150 compuestos, además del THC ¹⁸[2]. Aunque la mayor parte de estas sustancias carece de propiedades psicoactivas, sí puede ejercer efectos fisiológicos.

En algunos países del continente americano, ya se presenta una política de legislación para el uso de marihuana, es así como en nueve estados de los EE. UU,

¹⁷ CAQUET, R. CANNABIS. In 250 examens de laboratoire (Onzième Édition), R. Caquet, Ed., onzième Édition ed. Elsevier Masson, Paris, 2010, p. 78 79.

¹⁸ Ibid. CAQUET, R. CANNABIS.

es usado el *cannabis* con fines no médicos desde el año 2017. Colorado, es uno de los estados en donde el uso de marihuana es permitido, con la legalización de esta planta se elevó el consumo entre personas de 18 a 25 años manteniéndose entre los jóvenes de 17 y 18 años.

Por tal motivo, también se ha hecho notorio el incremento de las visitas a urgencias, así como ingreso a hospitales y muertes causadas por accidentes de tráfico en donde, el *cannabis* ha sido el protagonista además de casos en donde conducen bajo los efectos de estos. Otro país precursor de su legalización es Uruguay, donde es autorizado el uso de tetrahidrocannabinol hasta el 9% en productos de cannabis y de cannabidiol hasta un 3%, además, es permitido obtener hasta 480 gramos por persona al año en farmacias y clubes de cannabis¹⁹.

Las medidas tomadas en Colombia, respecto al consumo de marihuana, siguen enfocadas a la prohibición de estas, según el artículo 49 de la constitución política, el porte y el consumo de sustancias estupefacientes o psicotrópicas están prohibidas, salvo prescripción médica.

Del mismo modo, con la nueva administración en la presidencia, se ha anunciado entre sus planes de trabajo medidas estrictas contra el consumo del *cannabis*²⁰. Esta medida, también implica incautar la droga a todos aquellos que no porten en el bolsillo una certificación médica que acredite la adicción. Así, como la regulación de un tope máximo de dosis para uso personal y el trabajo firme contra el comercio de drogas en pequeñas escalas en el país²¹.

¹⁹ (UNODC), O. D. L. N. U. C. L. D. Y. E. D. Informe mundial sobre las drogas. Disponible en: <https://www.unodc.org/documents/wdr2015/World Drug Report 2015 Spanish .pdf>, 2015.

²⁰ DE POLÍTICA DE DROGAS Y ACTIVIDADES RELACIONADAS, D. Lineamientos política nacional de drogas. Disponible en: <http://www.odc.gov.co/PUBLICACIONES>, 2017.

²¹ DE COLOMBIA, C. Ley 30 de 1986. Disponible en: https://mintic.gov.co/portal/604/articles-3670_documento.pdf, 1986.

Además, el gobierno nacional busca estrategias para ello, el ministro lanzó los centros de Escucha, herramientas con la cual se busca llegar a las zonas, poblaciones más afectadas, para oír las causas y variables que llevan a los jóvenes a involucrar en el consumo de *cannabis*, trayendo consecuencias en sus cuerpos y en los que no los consumen debido al humo de segunda mano.

Por otra parte, algunas estrategias para su prevención en la UIS se basaron en campañas dirigidas a una comunidad universitaria sana, libre de drogas y a favor de la vida, tolerancia y la preservación de espacios amables y libres de contaminación.

De esta manera, el acuerdo No. 066 de agosto de 2010, la universidad adoptó medidas para preservar la salud y bienestar de la comunidad UIS y demás personas que visiten la institución, una de estas estrategias fue “UIS libre de drogas”, en la que los directivos, trabajadores, profesores y estudiantes, se concientizaron por la salud, el bienestar universitario y el cuidado del ambiente.

Por eso, programas como SER-UIS²² implementado desde 2008 mediante la resolución N 294 enfocada en desarrollar acciones educativo-preventivas frente el consumo de sustancias psicoactivas en la universidad.

El continuo consumo generado actualmente, en algunas áreas de la universidad como “el bosque”, ha desarrollado inconvenientes para las edificaciones aledañas, edificios como la escuela de e3t y la de estudios industriales, presentan fuertes olores muchas veces manifestados en horas de clase. Por esta razón, dicha problemática nos llevó a tener una posible hipótesis dónde podemos darle uso a uno de los dispositivos más utilizados en el comercio debido a la alta funcionalidad que tiene.

²² SER-UIS. Guía de atención programa. 2008. Disponible en: t.ly/wuMh

3.2. NARICES ELECTRÓNICAS

La nariz electrónica, es un dispositivo compuesto de sensores de gas sensibles a ciertos compuestos específicos, según su configuración, acoplado a un sistema de reconocimiento de patrones como método para procesar los datos resultantes de algún experimento²³.

Actualmente en la Universidad Industrial de Santander (UIS), existe una nariz electrónica basada en resultados de investigaciones previas²⁴. La versión uno de la e-nose perteneciente al grupo de investigación RadioGis, cuenta con tres módulos: energización, sensado, acondicionamiento y procesamiento de selección de datos, como se observa en la figura 1.

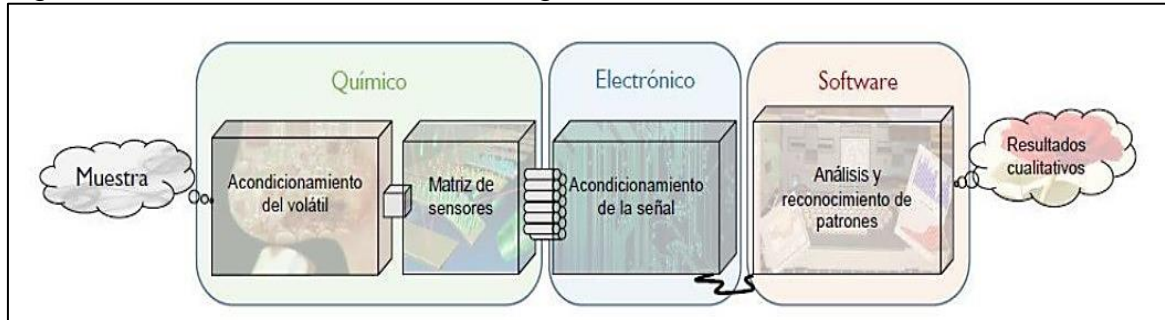
Siendo así, el modulo de energización es el encargado de suministrar la energía para los demás módulos. Luego, el módulo de sensado se encarga de acondicionar la muestra odorífica a la matriz de sensores, estos debido a la alteración de su impedancia reaccionarán a los volátiles.

Posteriormente, los datos proporcionados por la matriz de sensores serán enviados al modulo de acondicionamiento y procesamiento de selección de datos donde se miden las variaciones de los sensores ante la presencia de volátiles.

²³ DURÁN, C., G. O. H. M. Electronic nose to determine the maturity index of the tree tomato (*Cyphomandra betacea* Sendt). Ingeniería Investigación y Tecnología 15, 3 (2014), 351–362.

²⁴ JIMÉNEZ, L. F. R. Detección De Los Insectos De La Subfamilia Tria-Tominae Basado En Narices Electrónicas. PhD thesis, Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, 2018.

Figura 1: Proceso de funcionamiento general de una nariz electrónica.



Basado en ²⁵, Figura: Secuencia para el análisis de aromas.

3.3. INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

En 1999, Kevin Ashton propuso un nuevo concepto llamado Internet of Things definiéndolo como “Un sistema donde el internet esta conectado al mundo físico por medio de sensores ubicuos”. En otras palabras, IoT permite que cualquier objeto con la electrónica mínima pueda conectarse a través de Internet, siendo posible una comunicación entre “smart things” y personas y a su vez la integración y comunicación de dispositivos^{26- 27}.

Así mismo, fue necesario el uso de un software capaz de unir estos dispositivos con la red²⁸. Dicho programa es una plataforma llamada middleware IoT, que se encarga de activar los componentes de hardware actuando como un puente entre los datos y los dispositivos. Es indispensable que estas plataformas sean mas robustas debido que podrían manejar grandes cantidades de datos en algunas aplicaciones.

²⁵ Op. Cit. JIMÉNEZ, L. F. R.

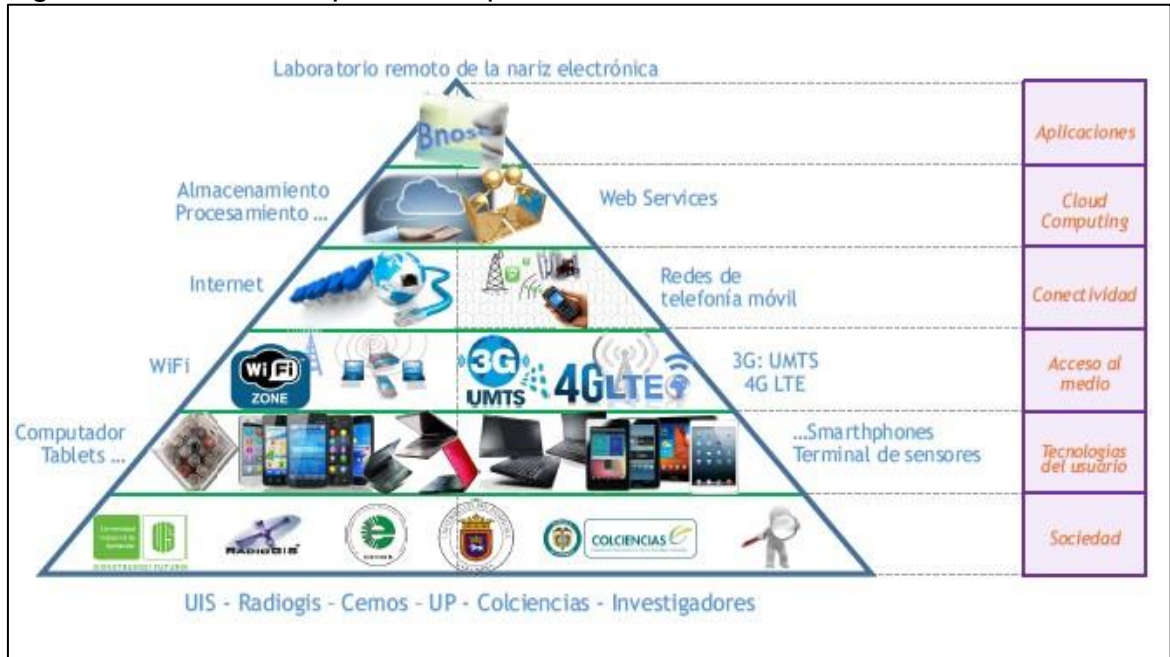
²⁶ DE INDUSTRIAS DE MEDIO AMBIENTE DE EUSKADI. ACLIMA., A. C. Tecnología e industria 4.0: la sostenibilidad en la cuarta era industrial. Environmental Science & Technology 48, 7 (2018), 3970 3977. PMID: 24579930.

²⁷ WANG, P., V. R. Z. S. e. a. Introduction: Advances in iot research and applications. Inf Syst Front 17 (2015), 239 241.

²⁸ HEJAZI, HAMDAN Rajab, H. C. T. L. L. Survey of platforms for massive iot. 2018. IEEE International Conference on Future IoT Technologies, Future IoT 2018 2018-Janua, 15 (2018), 1 – 8.

En la figura 2, se observa el modelo de capas de una plataforma IoT. Ese modelo, relaciona el entorno con los componentes del hardware (sensores) así como la evolución y diseño en capas hasta la aplicación general del objeto (Base de datos).

Figura 2: Modelo de capas de las plataformas IoT.



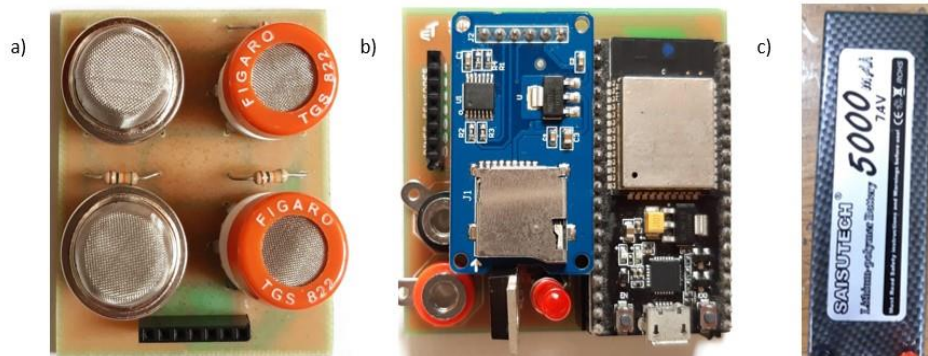
Basado en²⁹ , Figura: Modelo de capas para la propuesta de servicio.

²⁹ JIMÉNEZ, L. F. R., HIGUERA, P. A. L., y VELÁSQUEZ, Y. A. R. Caracterización de un módulo de reconocimiento de patrones para un servicio tic basado en narices electrónicas, 2015.

4. HARDWARE Y SOFTWARE DEL PROTOTIPO

Como se mencionó anteriormente, el prototipo está constituido por 3 módulos como se muestra en la figura 3, los cuales se diseñaron de la siguiente manera.

Figura 3: Hardware de la nariz electrónica a) PCB del módulo de sensado b) PCB de módulo de adquisición de datos c) Batería.



El hardware de cada módulo de la nariz electrónica se explica a continuación.

4.1. MÓDULO DE ENERGIZACIÓN

El módulo de energización se encarga de mantener la potencia necesaria consumida por la nariz electrónica durante el proceso de adquisición de datos. Éste módulo consta de una batería de 7.5 [V], un regulador de baja tensión con referencia DE7805 y un regulador de baja tensión Ldo (lp38690).

Así pues, la alimentación al circuito impreso (PCB) viene dada por 2 pines conectados directamente al positivo y negativo de la batería de 7.5V, la cual es la responsable de mantener en funcionamiento a la nariz electrónica.

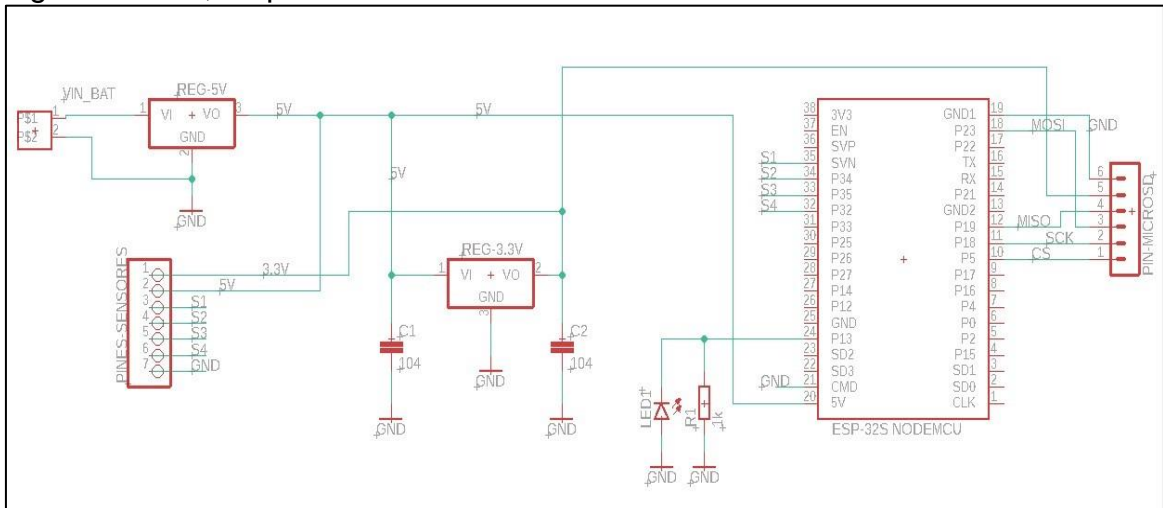
Posteriormente, es conectada al regulador DE7805 que baja la tensión a 5V para que así pueda suministrarle al módulo de sensado la potencia suficiente para que

los sensores funcionen correctamente. Además, la salida de 5V es dirigida para alimentar la Board Dek Kit V1, y el regulador de baja tensión, Ldo (lp38690).

La salida del Ldo es de 3.3V, se conecta a unos de los pines de los sensores puesto que, necesitan de dos tipos de alimentación diferentes que son 3.3V y 5V, (ver figura 3 inciso b). El regulador cuenta con un disipador de calor, este no se colocó en la figura debido a que no permite la visualización de los demás dispositivos a sus alrededores.

Por otra parte, para el uso del Ldo es fundamental colocar dos capacitores, los cuales fueron ubicados en la entrada y salida de éste, para minimizar los cambios bruscos de la corriente. Adicionalmente, Se ubicó un led para mostrar cuando la ESP32 se conecta a WI-FI, cabe destacar, que se hizo uso de un módulo de SD Card con el fin de leer y escribir en la tarjeta SD.

Figura 4: PCB, esquema del módulo de alimentación de la nariz electrónica



La figura 4 muestra la tarjeta de circuito impreso o PCB (del inglés, printed circuit board), el cual es un dispositivo compuesto por trazas de material conductor laminado sobre una base no conductiva o material dieléctrico. Su diseño se realizó en el programa Autodesk EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor), este

programa permite realizar diseño de forma gratuita en la versión libre para estudiantes ³⁰.

4.2. MÓDULO DE SENSADO

Los sensores de gas manejan un proceso químico, entre las moléculas, que son los encargados de detectar la presencia de algún gas y su concentración, así como las moléculas de un material referente es el método científico de una nariz electrónica.

Hoy en día, se encuentra variedad de sensores dependiendo de las características requeridas en el diseño (sensibilidad, tamaño, aplicación), debido a ello se han dividido en dos tipos: en el que se obliga a generar un contacto gas-material; y en el que se utilizan las emisiones infrarrojas o ultrasónicas.

Cabe resaltar, que estos últimos son los sensores catalíticos, donde su uso es para detección de gases combustibles, sensores electroquímicos y de semiconductores de óxido de meta I(MOS)³¹.

Asimismo, una cualidad importante de los sensores de gas tipo MOS es la capacidad de detectar bajas concentraciones de gas. Otros sensores suministran la capacidad de detectar diferentes gases, alterando los materiales del sensor, y su precio sigue siendo económico. Sin embargo, cabe recalcar que³²:

- Previamente a la primera función del sensor, se deben mantener funcionando de manera permanente durante ocho días, aproximadamente (preheating time). La función de este proceso, es la eliminación de las impurezas que pudo ganar

³⁰ Disponible en <http://www.autodesk.com/education/free-software/eagle>

³¹ Op. Cit. JIMÉNEZ, L. F. R.

³² FIGARO, Figaro USA inc, W. I. i. g. s. i. Figaro. Disponible en: <https://www.figarosensor.com/technicalinfo/principle/mos-type.html>.

en el almacenamiento, y dependiendo del tiempo que lleve guardado, mayor o menor será el preheating time.

- Es relevante tener en cuenta, que la exposición del sensor a ambientes corrosivos, aplicación de voltajes excesivos, contacto con el agua, niveles de humedad, soldaduras, y otros ambientes o singularidades pueden dañarlo.
- La presión atmosférica juega un papel importante en la función de estos sensores, casi siempre de manera lineal.

Como resultado, el modelo elaborado está integrado por sensores semiconductores de óxido de metal, usando una película de cristales de óxido de metal tipo n (dióxido de estaño, SnO_2). De este modo, cuando el gas toca el sensor provoca que la resistencia eléctrica decrezca, ejecutando así, la reacción química.

En efecto, los sensores que usan dióxido de estaño, su sensibilidad cambia dependiendo el calor, ya que el oxígeno presente en el aire se absorbe en el cristal (SnO_2).

Finalmente, los electrones –donantes son transferidos desde la parte superior del cristal hasta el oxígeno para obtener, de esta forma, una carga positiva, esto fortalece la barrera de potencial y la resistencia eléctrica del material.

Por lo tanto, la densidad superficial del oxígeno, que se encuentra con una carga negativa, es disminuida cuando hay presencia de un gas desoxidante, al igual, que la barrera de potencial, por ello, la conductancia del material incrementa³³.

Dentro de este orden de ideas, Para algunos rangos de concentración la relación entre la resistencia del sensor y la concentración de gas desoxidante está representada en la ecuación 4.1.

³³ Ibid. FIGARO-Engineering.

$$R_s = A[C]^{-\alpha} \quad (4.1)$$

Para esta ecuación:

R_s : Resistencia del sensor. v C : Concentración del gas.

v α : Tasa de pendiente de concentración. v A : Constante de característica de cada gas.

En la implementación se emplea sensores como en la figura 5. Se usan dos tipos de sensores: Fígaro y MQ, cada uno de ellos con socket individual. La placa de sensado, se puede configurar manualmente de manera simple alterando los sensores que integran la matriz de la nariz electrónica.

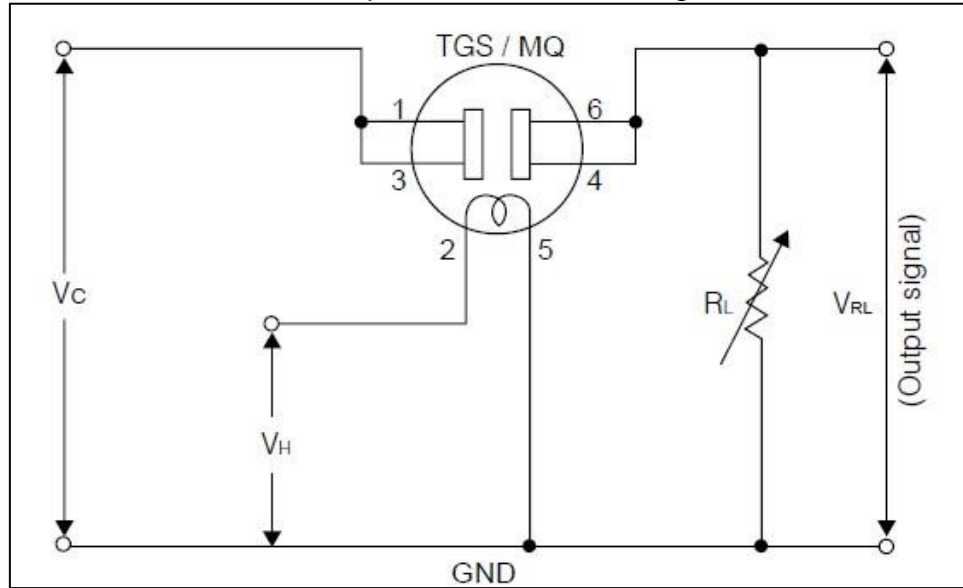
Figura 5: Sensor MQ-135 ³⁴



Al mismo tiempo, se siguió la sugerencia del fabricante al momento de acondicionar la señal de los sensores (figura 6), donde se efectúa una medición indirecta de la resistencia que es igual a la ecuación 4.2.

³⁴ ZHENGZHOU Winsen Electronicsn Technology Co. Ltd. Technical Information on Usage of TGS Sensors for Toxic and Explosive Gas Leak Detectors, 3, 2015.

Figura 6: Circuito de medida DC para los sensores de gas ³⁵.



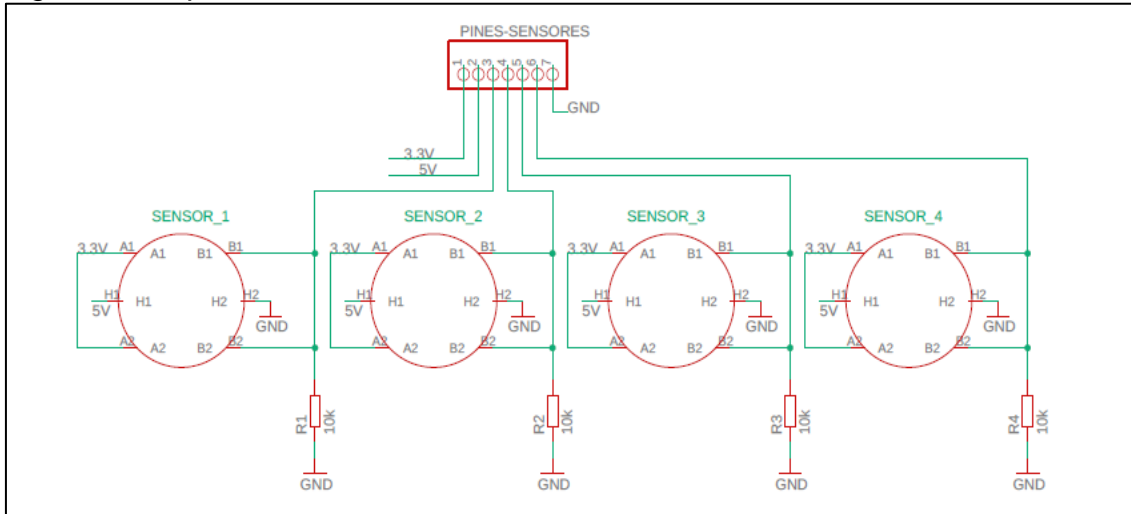
$$R_s = \frac{V_c * R_l}{V_{rl} - R_l} \quad (4.2)$$

R_s : resistencia del sensor, V_c : voltaje de control (5v), R_l : Resistencia de carga, V_{rl} : Tensión que mide los terminales de R_l . Esta tensión es la señal que posteriormente será digitalizada hacia la tarjeta de desarrollo ³⁶.

³⁵ FIGARO-Engineering. Technical Information on Usage of TGS Sensors for Toxic and Explosive Gas Leak Detectors, 3 2005.

³⁶ JIMÉNEZ, L. F. R. Detección De Los Insectos De La Subfamilia Tria-Tominae Basado En Narices Electrónicas. PhD thesis, Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, 2018.

Figura 7: Esquemático de los sensores



La figura 7, representa el diseño esquemático de la matriz de 2x2 de los sensores mencionada anteriormente.

4.3. MÓDULO DE COMUNICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Este módulo, está compuesto por la comunicación y adquisición de datos, obtenidos mediante el microcontrolador(ESP32). A grandes rasgos, la ESP32 adquiere los datos del sensor y a su vez se comunica con el servidor local, tal como se muestra en la figura 8, como se especifica a continuación.

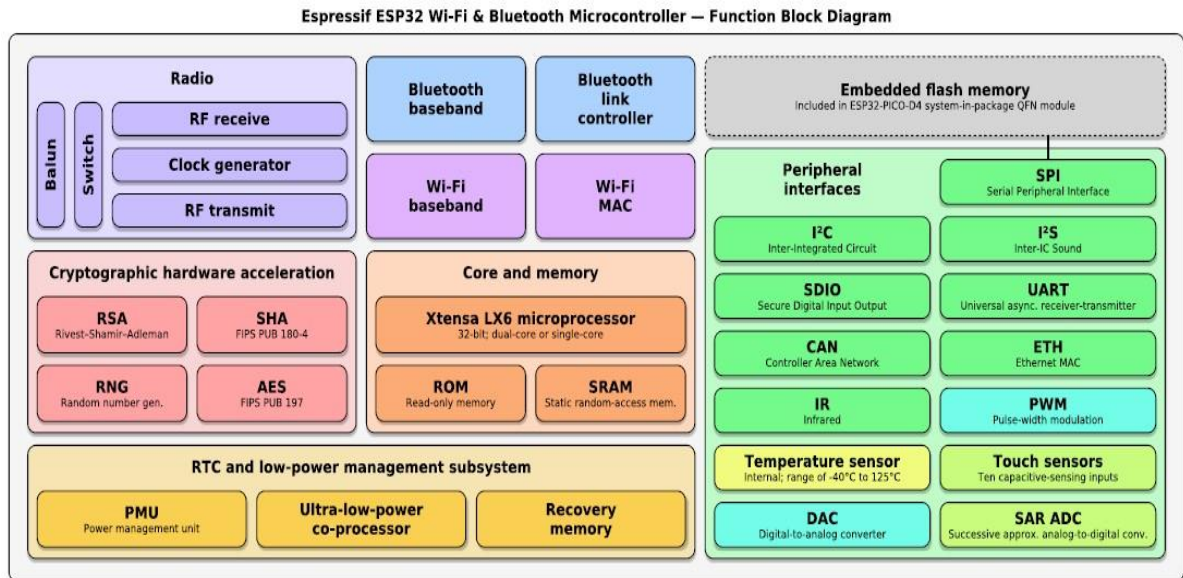
Figura 8: Diagrama a seguir de la adquisición y comunicación



4.3.1 Microcontrolador ESP32: Uno de los elementos principales que componen la nariz electrónica en esta investigación es el módulo de adquisición y comunicación. En esta fase es necesario que la tarjeta de desarrollo que se elija sea de bajo costo y consumo de energía, tenga agilidad de procesamiento además de que cuente con tecnología WIFI que permita conectarse a Internet.

Dichas características, las obtiene el microcontrolador creado y desarrollado por Espressif Systems, la ESP32. Esta tecnología hace parte de la familia de chips SoC (system on chip) encargadas de integrar varios módulos en un solo circuito integrado, entre algunos de estos modulo se encuentran: reguladores de voltaje y circuitos de gestión eficaz de la energía, controladores de interface analógicas, conversores ADC y DAC, componentes periféricos como contadores-temporizadores, módulos de memoria, así como los módulos de comunicación inalámbrica (Wi-Fi, Bluetooth, etc) entre otros.

Figura 9: Diagrama de funciones de la ESP32.



Basado en Figura: Espressif ESP32 Chip Function Block Diagram.

Así mismo, la ESP32 cuenta con un microprocesador de 32 bits Tensilica Xtensa LX6 de doble núcleo, operando a velocidades de hasta 240 MHz, con 520 KB de memoria RAM y memoria flash de 4MB, Figura 9. Adicionalmente, tiene capacidad de conexión inalámbrica por medio de Wi-Fi y Bluetooth por las interfaces SPI / SDIO o I2C / UART.

Por esto, el microcontrolador ESP32 integrado a la tarjeta de desarrollo DevKit v1 (Figura 10) es ideal para proyectos orientados al Internet de las cosas (IoT), su compatibilidad con la interfaz de Arduino-IDE permite que la comunidad encuentre mayor información para su programación, así como la posibilidad de usar MicroPython, LUA o la herramienta ESP-IDF que ofrece el mismo fabricante.

Figura 10: Microcontrolador ESP32.



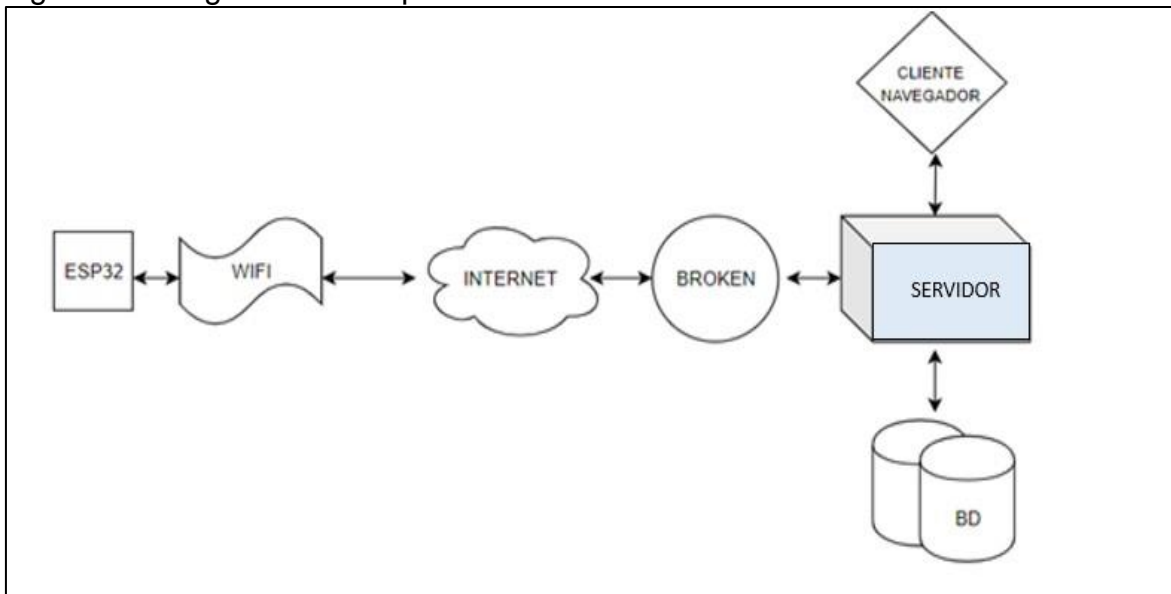
Basado en Figura: Development board created by DOIT, Esp32 DevKit v1

La placa devkit, opera con un voltaje de entrada 7-12V y con 3.3V como voltaje de funcionamiento. Así mismo, esta board posee el siguiente pin-out:

1. 25 pins I/O digitales.
2. 6 pins de entrada analógica (ADC).
3. 2 pins de salida analógica (DAC: GPIO25, GPIO26).
4. 4 pins Power (5V, 3.3V, GND).
5. Comunicación serial: RX (GPIO3), TX (GPIO1).
6. SPI: MOSI(GPIO23), MISO(GPIO19), CLK(GPIO18), CS(GPIO5).
7. I2Cs: pin SCL (GPIO22), SDA (GPIO21).

4.3.2 Adquisición de datos y comunicación: Para la obtención de datos en las pruebas, se llevó a cabo mediante dos aspectos importantes. Inicialmente, sensor cuando el ambiente está limpio, es decir, se garantiza la ausencia de volátiles generados por la combustión de *cannabis*, siendo así el olor de referencia (clase negativa). Seguidamente, se avala la presencia de volátiles de *cannabis* en diferentes condiciones, para ello, se tiene en cuenta sólo la duración de la generación del humo.

Figura 11: Diagrama de bloques del enlace de comunicación hacia el servidor.



En la comunicación, se usa python ya que es un lenguaje de programación con escritura sencilla, con el fin de conectar la ESP32 a través de Wi-Fi para envié de los datos al servidor local.

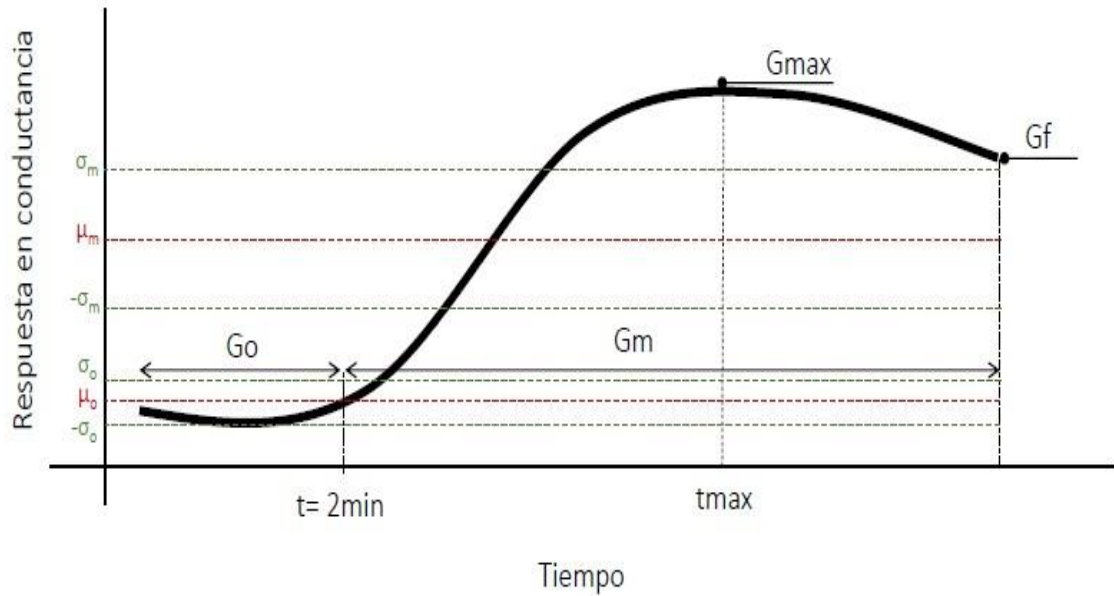
Basado en esto, se realiza un entorno virtual, esto garantiza la organización y un respaldo digital de la información, para la aplicación de la nariz electrónica, con ellas se pueden realizar diversas labores, las cuales, conforman la elaboración de la aplicación, tales como manejo de la API rest, base de datos(BD), etc.

4.4. PROCESAMIENTO DE SEÑALES

El procesamiento de datos de la nariz electrónica consta, de la extracción de datos de una manera segura, para su respectivo análisis. Inicialmente los datos son entregados en la base de datos (PosgretQSL), al igual que son guardados en una tarjeta microSD, en los que se extraen en un archivo .txt, estos datos vienen en forma de una cadena, en las que incluyen, espacios, comas y corchetes, en los que es necesario hacer un ajuste, para que cada archivo (prueba o muestra), lo lea como una matriz limpia, por lo cual, permite que estos datos entregados sean procesados para poder visualizar la respuesta de los sensores, y con ello, tomar las señales y empleándoles un filtro digital, llamado butterworth, en él se obtiene una respuesta plana para disminuir el ruido.

4.4.1 Extracción de características. La extracción de características, es el proceso mediante el cual se obtienen los parámetros descriptivos de cada señal correspondientes a un solo sensor. En otras palabras, se examina el archivo procedente del sensor a evaluar para identificar las características y así mismo separar las dos clases, positiva y negativa, a las cuales se expuso éste en el campo.

Figura 12: Curva de respuesta en conductancia de una señal de gas de un sensor.



Basado en³⁷, Figura: Principales parámetros de una señal de sensor de gas para la extracción de características.

La gráfica de la figura 12 muestra la curva de la respuesta en conductancia (inverso de la resistencia) de un sensor que varía a través del tiempo. En cuya curva, se pueden visualizar los parámetros para hallar el procesamiento de datos. En la Cuadro 1 se puede observar dichas características mencionadas.

Cuadro 1: Características disponibles en el procesamiento de datos de la nariz electrónica como dispositivo IoT

Característica	Descripción
G_o	Conductancia inicial

³⁷ Ibid. JIMÉNEZ, L. F. R.

Característica	Descripción
Gf	Conductancia final
Gmax	Valor conductancia máxima
Gm	Vector de conductancia de muestra
Tmax	Valor tiempo en la que se presenta conductancia máxima
Mo	Media aritmética de las 200 primeras muestras
teta _o	Desviación estándar de los las 200 primeras muestras
GmaxGo	Razón de cambio
GmaxGo _n	Razón de cambio normalizado
Delta _G	Varianza de Cambio

4.4.2 Selección de características. Su función es reducir la cantidad de variables, eliminando los datos erróneos que puede existir, hay algunas señales que representan información importante clasificatoria en sus características, esto referencia a la disminución del costo computacional y tiempo de procesamiento.

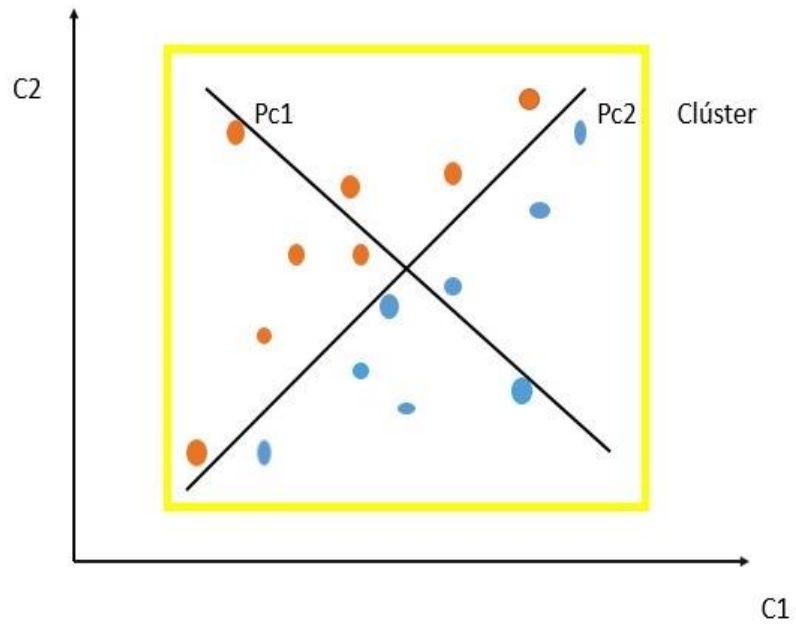
4.4.3 Entrenamiento de la nariz electrónica. Una vez completada la selección de características, se procede a realizar el entrenamiento de la nariz según los patrones identificados. Para ello se usa el algoritmo de la PCA el cual es conocido por su eficiencia al bajar de dimensionalidad³⁸ y a su vez mostrar la separabilidad de los datos.

En otras palabras, este algoritmo tiene información que está en un espacio de alta dimensión proyectándola en un subespacio de menor dimensión. De igual manera contiene unos componentes principales que son la clave del algoritmo, ya que estos

³⁸ PEDREGOSA, F., VAROQUAUX, G., *et,al*: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research 12 (2011), 2825–2830.

indican que son las dimensiones, donde el componente principal (Pc1) se encontrara en dirección donde haya mayor varianza.

Figura 13: PCA en dos dimensiones



5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Establecido el procedimiento y funcionamiento para la adquisición de datos, se procede al análisis por medio del sistema de reconocimiento de patrones, con el propósito de evaluar la respuesta de cada sensor de la nariz electrónica. Cabe resaltar, que las pruebas con *cannabis* se tomaron con la nariz electrónica versión V.1 tomada de³⁹, puesto que estas pruebas fueron claves para el óptimo desarrollo del software y asimismo el procesamiento de señales. Adicionalmente, se presenta el diseño de la pagina web en donde es posible hacer un monitoreo los datos de los sensores en tiempo real.

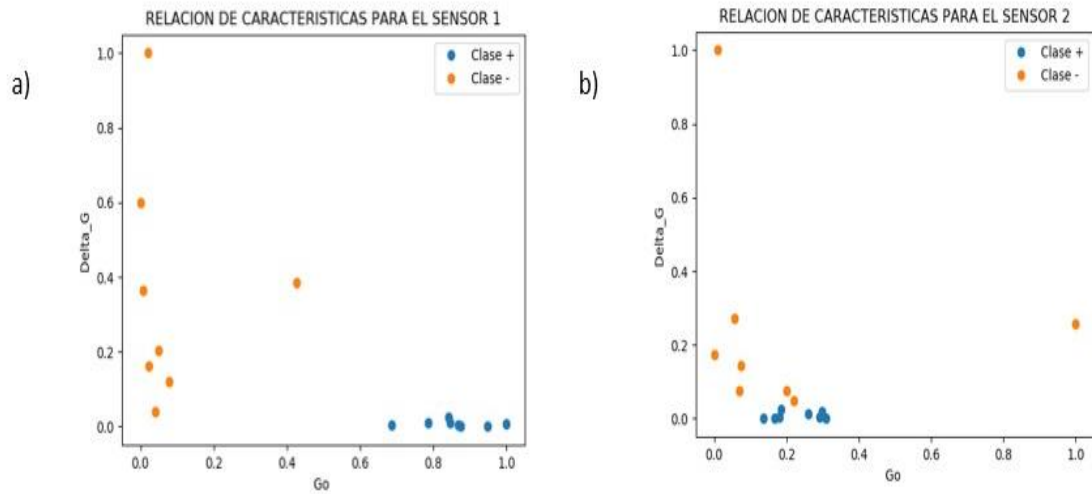
5.1. SELECCIÓN DEL SENSOR

A partir de la adquisición y filtrado de los datos obtenidos de los sensores, se procede a establecer las características que establecen información relevante de un grupo de sensores, con el objetivo de separar el conjunto de datos(clúster).

En ese orden de ideas, en la figura14 se presenta la relación de la conductancia inicial Vs la varianza de cambio para dos sensores diferentes, a) sensor 1 y b) sensor 2. Se puede apreciar que la separabilidad de los datos obtenidos en la clase positiva, a la clase negativa, es evidente en el sensor 1; lo cual indica que este sensor provee información de una manera más fácil para el análisis de dichas características.

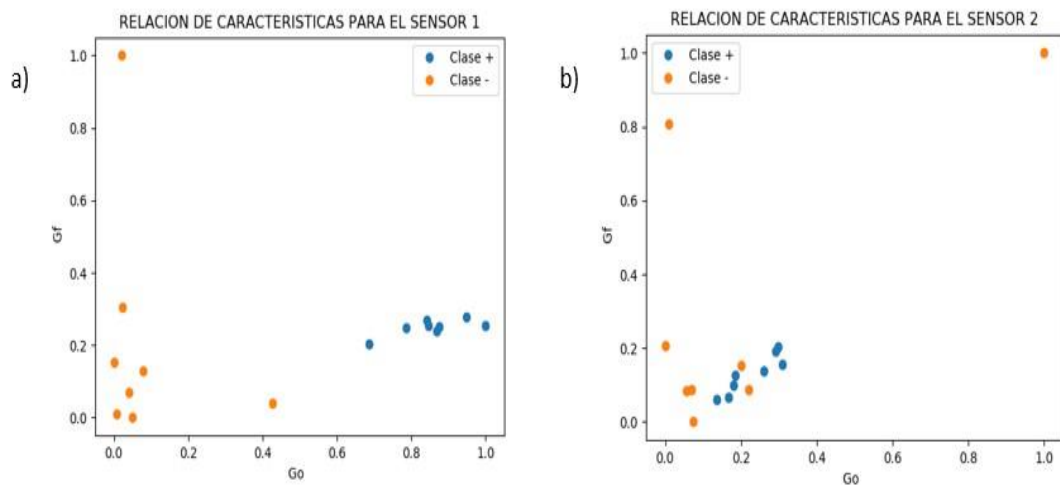
³⁹ JIMÉNEZ, L. F. R. Detección De Los Insectos De La Subfamilia Tria-Tominae Basado En Narices Electrónicas. PhD thesis, Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, 2018.

Figura 14: Relación de Características Conductancia inicial con la varianza de cambio para a) sensor 1 b) sensor 2



Por otro lado, en la figura 15 se presenta la relación de conductancia inicial Vs la conductancia final para los mismos sensores analizados: a) sensor 1 y b) sensor 2. Se puede evidenciar que, al igual que en el caso anterior, el sensor 1 presenta la separabilidad de los datos de la clase positiva de la negativa de mejor forma, por lo que hace más cómodo el análisis de los datos de las características obtenidas.

Figura 15: Relación entre características extraídas de para las clases positivas y negativas para el sensor 10 y sensor 2



En tal sentido, es conveniente escoger el sensor 1 para el análisis de componentes principales (PCA) que se maneja en la siguiente sección.

5.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES - PCA

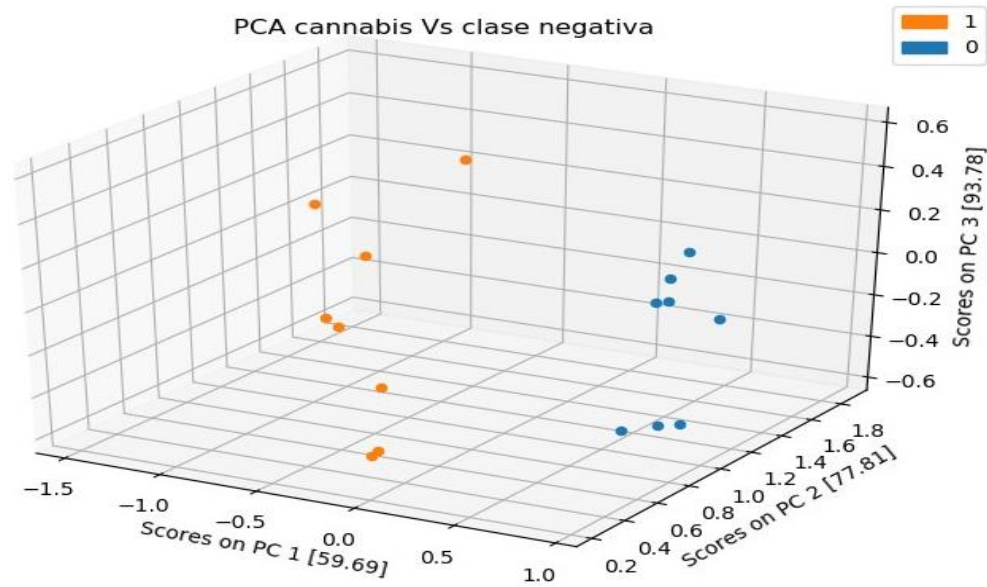
Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a realizar el PCA del sensor 1, en donde se grafica 3 componentes principales, los cuales son escogidos por el algoritmo del software de acuerdo, a la información relevante de las características, donde la varianza es del 100%. (ver figura 16)

Figura 16: Imagen del software local de la nariz electrónica indicando los valores de PCA para el sensor 1.

Numero de PC	Valor de PC	%Varianza del PC	%Varianza Total
0	0.537966493378	59.6933582715	59.6933582715
1	0.163253804744	18.1148230898	77.8081813612
2	0.143944512429	15.9722426163	93.7804239775
3	0.0461348198623	5.11917073783	98.8995947153
4	0.00983327043791	1.09111058487	99.9907053002
5	7.96403170241e-05	0.00883697783317	99.999542278
6	4.1250665079e-06	0.000457721951053	100.0
7	-2.25535627761e-18	-2.50256831916e-16	100.0
8	-6.66833719476e-18	-7.3992608488e-16	100.0

Con esta información recolectada, se procede a normalizar los valores arrojados antes de ingresarlos al algoritmo de PCA, con el fin de graficar en tres dimensiones con valores cercanos a la unidad, siendo las dimensiones cada uno de los componentes principales escogidos por el algoritmo. En la figura 17, se evidencia la separabilidad de las clases estudiadas y se observa la con el objetivo de poder analizar la separabilidad de las clases.

Figura 17: Imagen del software local de la nariz electrónica indicando los valores de PCA para el sensor S1.



5.3. PLATAFORMA IoT

A condición de conectar, el módulo de la nariz electrónica a través de la plataforma IoT del grupo de investigación RadioGis, se diseñó una página web, con lenguajes de programación como HTML, CSS, PHP, JavaScript y python. El propósito de la página web, es mostrar los datos arrojados por los sensores, los cuales reflejan la calidad de aire en un entorno. Donde, los datos eran guardados en la base de datos para luego ser analizados.

5.3.1 Servidor local o plataformas locales. La conexión al servidor local o las plataformas se hizo mediante el lenguaje de programación python. De esta manera, se puede tener en las computadoras para su fácil acceso, esto se hizo, mediante el repositorio de github, seguidos de unos pasos tal como se muestra en el siguiente link⁴⁰. Con lo anterior, obtenemos un servidor o plataforma, tal como se muestra en la siguiente figura 18

⁴⁰ <https://github.com/LuisDiazM/CentroTIC/blob/developers/README.md>

Figura 18: Página CENTRO TIC.



En las siguientes figuras, se observa las líneas usado para activar el entorno virtual para la aplicación EN, seguida de las peticiones GET del servidor.

Figura 19: Activar el entorno virtual para la aplicación EN.

```
natalie@natalie:~$ source env_centrotic/bin/activate
(env_centrotic) natalie@natalie:~$ cd CentroTIC/src/project_module3
(env_centrotic) natalie@natalie:~/CentroTIC/src/project_module3$ python manage.p
y runserver 192.168.0.7:8080
Performing system checks...

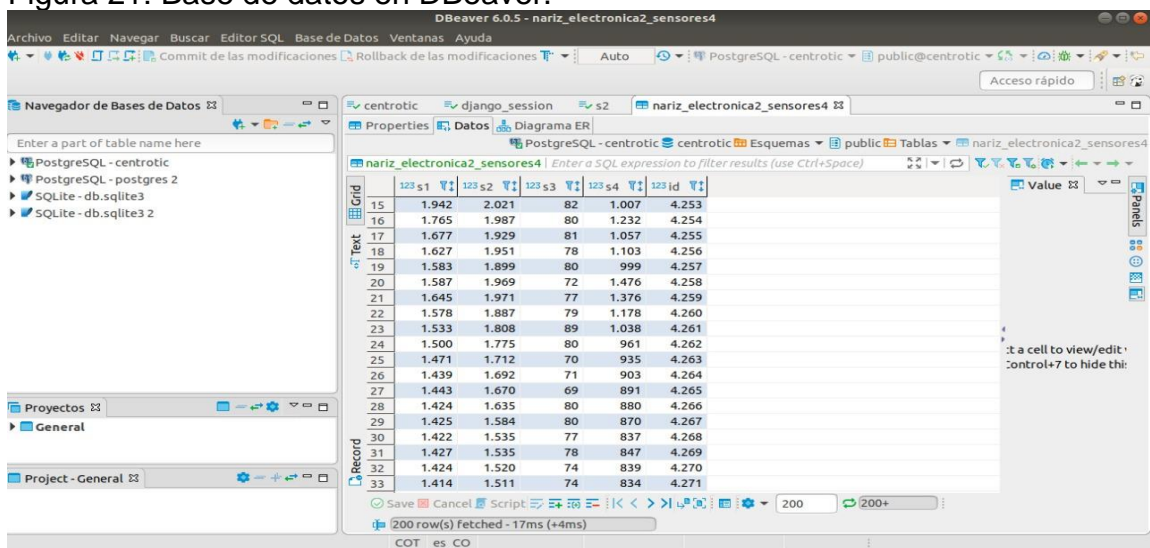
System check identified no issues (0 silenced).
June 30, 2020 - 09:01:38
Django version 2.1.7, using settings 'project_module3.settings'
Starting development server at http://192.168.0.7:8080/
Quit the server with CONTROL-C.
```

Figura 20: Peticiones GET del servidor.

```
[30/Jun/2020 09:04:54] "GET / HTTP/1.1" 200 5662
[30/Jun/2020 09:04:55] "GET /static/centrotic.png HTTP/1.1" 200 40043
[30/Jun/2020 09:04:55] "GET /static/logo_radiogis.jpg HTTP/1.1" 200 22952
[30/Jun/2020 09:04:55] "GET /static/logoUIS.png HTTP/1.1" 200 25639
Not Found: /favicon.ico
[30/Jun/2020 09:04:55] "GET /favicon.ico HTTP/1.1" 404 3820
[30/Jun/2020 09:05:14] "GET /nariz_electronica/index HTTP/1.1" 200 3544
[30/Jun/2020 09:05:14] "GET /static/js/jquery-3.1.1.min.js HTTP/1.1" 200 86709
[30/Jun/2020 09:05:14] "GET /static/nariz_electronicaV1/nariz_electronica.jpeg HTTP/1.1" 200 65867
[30/Jun/2020 09:05:14] "GET /static/nariz_electronicaV1/nariz_electronica1.jpeg HTTP/1.1" 200 71877
[30/Jun/2020 09:05:14] "GET /static/nariz_electronicaV2/NarizV2.jpeg HTTP/1.1" 200 57710
[30/Jun/2020 09:05:14] "GET /static/centrotic.png HTTP/1.1" 200 40043
[30/Jun/2020 09:05:18] "GET /nariz_electronicaV2/index HTTP/1.1" 200 18999
[30/Jun/2020 09:05:18] "GET /static/nariz_electronicaV2/acceso/css/owl.carousel.css HTTP/1.1" 200 4614
[30/Jun/2020 09:05:18] "GET /static/nariz_electronicaV2/acceso/css/ionicons.min.css HTTP/1.1" 200 51244
[30/Jun/2020 09:05:18] "GET /static/nariz_electronicaV2/acceso/css/magnific-popup.css HTTP/1.1" 200 7780
```

5.3.2 Base de datos. Se maneja la base de datos llamada PostgreSQL, está orientada a objetos, la cual se maneja en DBeaver Community, que es un programa de fácil acceso ya que es gratuito y como se observa en figura 21, en ella se puede visualizar los datos, también facilita la exportación de datos entre otras aplicaciones.

Figura 21: Base de datos en DBeaver.



5.3.3 Diseño. La página web tiene un diseño sencillo, primeramente, se encuentra el nombre del proyecto y el logo de la universidad, seguidamente de la sección que muestra la respuesta de los sensores, en donde, se hace una breve explicación de la reacción química ocurrida en ellos como se puede ver en la figura 24.

Figura 22: Inicio de la Pagina

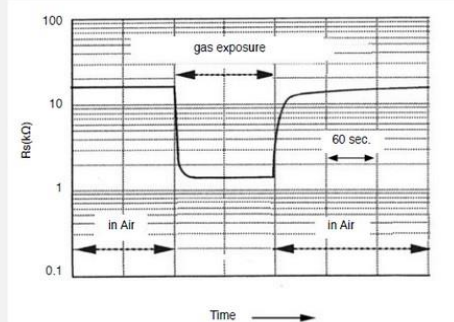
SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA DETECCIÓN DEL HUMO DE CANNABIS BASADO EN UNA NARIZ ELECTRÓNICA COMO TERMINAL IoT



Figura 23: Introducción de la pagina web

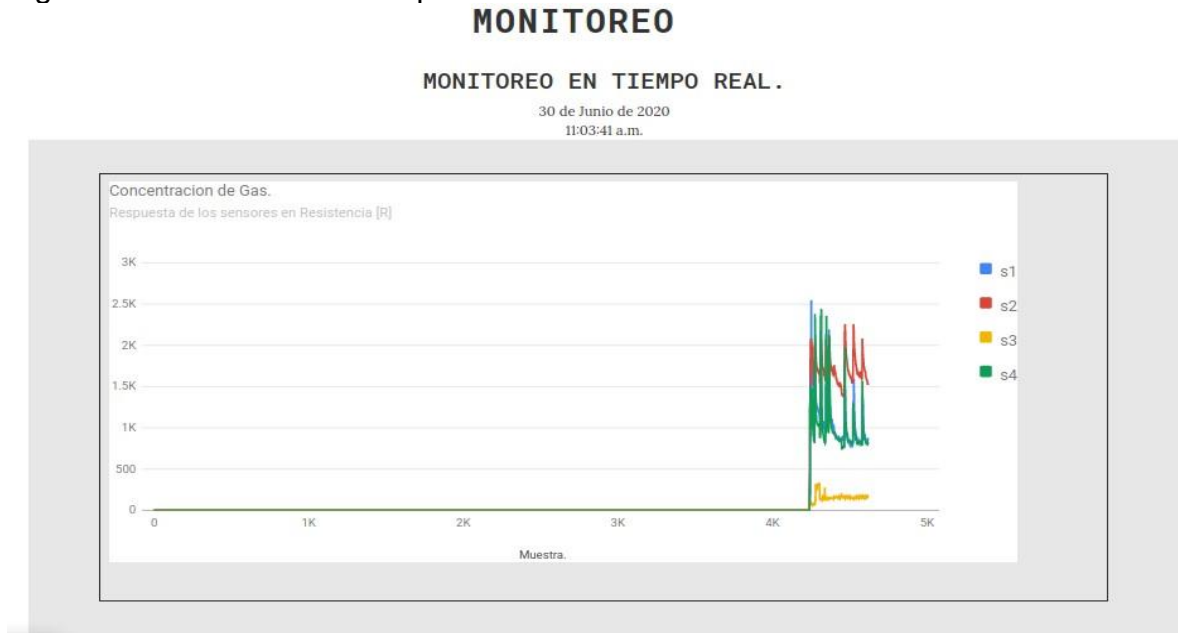
Respuesta de los Sensores

El sensor presenta una respuesta al fenómeno químico existente entre las moléculas que componen el volátil que se desea identificar y las moléculas de un material referencia. La reacción química ocurre cuando el gas hace contacto con el sensor provocando que la resistencia eléctrica en el sensor decrezca.



Simultáneamente, en la sección de monitoreo, se puede apreciar la gráfica de los datos arrojados por los sensores para el monitoreo en tiempo real.

Figura 24: Monitoreo en tiempo real.



La figura 25, es una sección de la pagina importante donde se da información de los diseñadores de la pagina, para trabajos futuros.

Figura 25: Pie de la Pagina

CONTACTENOS

Para mayor información puede comunicarse por algunos de los siguientes medios.
Nathaly Jiménez Pérez NATHALY.JIMENEZ@correo.uis.edu.co
Yuliana Rojas Ortega yulianarjso@gmail.com

6. CONCLUSIONES

A partir de los procedimientos enunciados y los resultados obtenidos, es posible llegar a la siguiente conclusión general:

Se desarrolló un prototipo experimental para la detección de volátiles emanados en zonas abiertas, a través de una nariz electrónica conectada en la plataforma IoT de la red local del grupo de investigación RadioGis.

En cumplimiento con este, se desprenden las siguientes conclusiones específicas:

Se diseñó un módulo de adquisición y comunicación de datos en la nariz electrónica, en donde, el microcontrolador se encarga de tomar la información del sensor y, a su vez, se conecta a través de la plataforma IoT de la red local diseñada, esto con el fin, de monitorear los sensores en tiempo real.

Específicamente, la figura 4 expone el funcionamiento de este módulo de una manera intuitiva, asimismo se explica a fondo en la sección 4.3

Se analizó los datos adquiridos en presencia del humo de cannabis y de otros olores, separándolos en dos clases: positiva y negativa. Dicho análisis, se realizó por medio del sistema de reconocimiento de patrones de la nariz electrónica, tal como se especifica en la sección 4.4.

7. OBSERVACIONES

A la hora de leer este trabajo de grado, es importante tener en cuenta las siguientes observaciones para un mejor entendimiento del mismo.

Aunque el objetivo para el presente trabajo de grado fue, en un principio, hacer pruebas de campo en las instalaciones de la UIS con el prototipo de nariz electrónica, debido a la emergencia sanitaria global por el virus COVID-19, estas pruebas estuvieron sujetas a los datos tomados anteriormente con la versión v.1 de la nariz electrónica elaborada por el grupo de investigación RadioGis.

Actualmente, el servidor web del grupo de investigación RadioGis está deshabilitado. Sin embargo, se diseñó todo dentro de la red local de la universidad y se configuró la plataforma en nuestros computadores de forma local. Adicionalmente, la página web diseñada es escalable a la web, solo se debe hacer la transferencia al servidor deseado y quedaría totalmente funcional.

BIBLIOGRAFÍA

ANDREAS VOSS, Katharina Witt, T. K. W. P. A. E. P. R., and BÄR, K.-J. Detecting cannabis use on the human skin surface via an electronic nose system. 13256–13272.

CAQUET, R. CANNABIS. In 250 examens de laboratoire (Onzième Édition), R. Caquet, Ed., onzième Édition ed. Elsevier Masson, Paris, 2010, p. 78 79.

DE COLOMBIA, C. Ley 30 de 1986. Disponible en: https://mintic.gov.co/portal/604/articles-3670_documento.pdf, 1986.

DE INDUSTRIAS DE MEDIO AMBIENTE DE EUSKADI. ACLIMA., A. C. Tecnología e industria 4.0: la sostenibilidad en la cuarta era industrial. Environmental Science & Technology 48, 7 (2018), 3970 3977. PMID: 24579930.

DE EDUCACIÓN NACIONAL, M. República de Colombia.

DE LAS NACIONES UNIDAS CONTRA LA DROGA Y EL DELITO, O. Resumen, conclusiones y consecuencias.

DE POLÍTICA DE DROGAS Y ACTIVIDADES RELACIONADAS, D. Lineamientos política nacional de drogas. Disponible en: <http://www.odc.gov.co/PUBLICACIONES>, 2017.

Disponible en <http://www.autodesk.com/education/free-software/eagle>

DURÁN, C., G. O. H. M. Electronic nose to determine the maturity index of the tree tomato (*Cyphomandra betacea* Sendt). *Ingeniería Investigación y Tecnología* 15, 3 (2014), 351–362.

DUKE, N. N. *Adolescent Adversity and Concurrent Tobacco, Alcohol, and Marijuana Use*. 2018.

FIGARO, Figaro USA inc, W. I. I. G. S. I. Figaro. Disponible en: <https://www.figarosensor.com/technicalinfo/principle/mos-type.html>.

FIGARO-Engineering. *Technical Information on Usage of TGS Sensors for Toxic and Explosive Gas Leak Detectors*, 3 2005.

GARDNER Julian W., P. N. B. *Electronic Noses. Principles and Applications*. 3 1999.

HADDI, Z., A. A. A. H. E. B. N. L. E. . B. B. A portable electronic nose system for the identification of cannabis-based drugs. *Sensors and Actuators, B: Chemical* 155 (2011), 456–463.

<https://github.com/LuisDiazM/CentroTIC/blob/developers/README.md>

HEJAZI, HAMDAN Rajab, H. C. T. L. L. Survey of platforms for massive IoT. 2018. *IEEE International Conference on Future IoT Technologies, Future IoT 2018* 2018-Janua, 15 (2018), 1 – 8.

I. MORENO, R. CABALLERO, R. G. F. M. A. J. La nariz electrónica: Estado del arte. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI* 6, 3 (2009), 76–91.

JIMÉNEZ, L. F. R. Detección de los insectos de la subfamilia tria-Tominae basado en narices electrónicas. PhD thesis, Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, 2018.

JIMÉNEZ, L. F. R., HIGUERA, P. A. L., y VELÁSQUEZ, Y. A. R. Caracterización de un módulo de reconocimiento de patrones para un servicio tic basado en narices electrónicas, 2015.

ON DRUGS, U. N. O., and UNODC, C. III estudio epidemiológico andino sobre consumo de drogas en la población universitaria de Colombia, 2016.

ORTEGA-Welch, M. Are there risks from secondhand marijuana smoke? early science says yes.

PEDREGOSA, F., VAROQUAUX, G., *et,al*: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research 12 (2011), 2825–2830.

SER-UIS. Guía de atención programa. 2008. Disponible en: t.ly/wuMh

(UNODC), O. D. L. N. U. C. L. D. Y. E. D. Informe mundial sobre las drogas. Disponible en: <https://www.unodc.org/documents/wdr2015/World Drug Report 2015 Spanish .pdf>, 2015.

WANG, P., V. R. Z. S. e. a. Introduction: Advances in iot research and applications. Inf Syst Front 17 (2015), 239 241.

ZHENGZHOU Winsen Electronicsn Technology Co. Ltd. Technical Information on Usage of TGS Sensors for Toxic and Explosive Gas Leak Detectors, 3, 2015.

ANEXOS

ANEXO A

A.1. Base de datos

Figura A.1: Sección de la tabla de los datos de los sensores.



Figura A.2: Fila de la toma de datos en una prueba.



Figura A.3: Token para la aplicación.



ANEXO B

B.1. Código del diseño de la página de la Nariz

Figura B.1: Código en html de la página web parte 1.

```
<!DOCTYPE html>
<html class='no-js' >
{% load static %}

<head>
<meta charset="utf-8">
<meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">

<!--
    Your Title
-->
<title> ENose2 </title>
<link rel="shortcut icon" href="{% static 'nariz_electronicaV2/acceso/img/icon.jpg' %}" type="jpg"/>

<!--
    CSS Stylesheets
-->
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="{% static 'nariz_electronicaV2/acceso/css/bootstrap.min.css' %}">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="{% static 'nariz_electronicaV2/acceso/css/ionicons.min.css' %}">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="{% static 'nariz_electronicaV2/acceso/css/owl.carousel.css' %}">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="{% static 'nariz_electronicaV2/acceso/css/magnific-popup.css' %}">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="{% static 'nariz_electronicaV2/acceso/css/style.css' %}">

</head>
```

Figura B.2: Código en html de la página web parte 2.

```
<!--
    Sección funcionamiento -- 2
-->
<section id='features-2' class='section features-2.section bg-lightgray' >
<div class='container' >
<div class='row' >
<div class='col-md-6 col-md-push-6' >

</div>
<div class='col-md-6 col-md-pull-6' >
<div class='screen-info-text' >
<h2>Respuesta de los Sensores</h2>
<p>El sensor presenta una respuesta al fenómeno químico existente entre las moléculas que componen el volátil que se desea identificar y las moléculas de un material referencia. La reacción química ocurre cuando el gas hace contacto con el sensor provocando que la resistencia eléctrica en el sensor decrezca.</p>
<a href="" class='btn-minimal' >
¿Quieres saber más?
</a>
</div>
</div>
</div>
</section>

<!--
    Sección funcionamiento -- 3
-->
<section id='features-3' class='section features-2.section' >
<div class='container' >
<div class='row' >
<div class='col-md-6' >

</div>
<div class='col-md-6' >
<div class='screen-info-text' >
<h2>Portable & Bajo costo</h2>
<p>Sistema simple, económico y portable basado en sensores semiconductores de oxido de metal.</p>
</div>
</div>
</div>
</section>
```

Figura B.3: Código en html de la página web parte 2.

```
<body>
  <!--Bordes de la página -->
  <div class='page-borders' >
    <div class='left' ></div>
    <div class='right' ></div>
  </div>

  <!--Barra de menu (para que aparezca el recuadro negro con las lineas) -->
  <a href='#' class='menu-btn' >
    <span class='lines' >
      <span class='l1' ></span>
      <span class='l2' ></span>
      <span class='l3' ></span>
    </span>
  </a>

  <!--menu-->
  <nav class='menu' >
    <ul>
      <li>
        <a href='#intro' >
          Inicio
        </a>
      </li>
      <li>
        <a href='#prototipo' >
          Prototipo
        </a>
      </li>
      <li>
        <a href='#monitoreo' >
          Monitoreo
        </a>
      </li>
      <li>
        <a href='#contactenos' >
          Contactenos
        </a>
      </li>
      <li>
        <a href='http://35.243.199.245/' >
          CENTRO TIC
        </a>
      </li>
    </ul>
  </nav>
```

ANEXO C

C.1.Código del entrenamiento del Nariz

Figura C.1: Ubicación de librerías usadas, y se hace el llamado de los archivos .txt

```
# -*- coding: utf-8 -*-
#!/usr/bin/env python
# Acentos y ñ
# -----

#### Librerías #####
import os
from os import listdir
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from matplotlib.ticker import MultipleLocator
from funcionesadd import *
from sklearn import svm
import math
from PCA import *

directory = os.getcwd()
folder = '{0}/{1}'.format(directory, 'pruebas')
Archivos = listdir(folder)

lista = []
for Archivo in Archivos:
    txt = open('{0}/{1}/{2}'.format(directory, 'pruebas', Archivo), 'r')
    lineas = txt.readlines()
    txt.close()
```

Figura C.2: Código que se encarga de limpiar los archivos .txt y gráfica la respuestas de los sensores.

```
data = []
for i in range(0, len(lineas)):
    dato = lineas[i]
    data_to_append = []
    dato = dato.replace("[", "")
    dato = dato.replace("]", "")
    dato = dato.replace(", ", "")
    dato = dato.replace("\n", "")
    dato = dato.replace("\r", "")
    fila = dato.split(' ')

    for j in range(len(fila)):
        if len(fila) == 1:
            break

        data_to_append.append(float(fila[j]))
    data.append(data_to_append)

n = len(data)
x = range(n)
fig, ax = plt.subplots()
minorLocatory = MultipleLocator(50)
minorLocatorx = MultipleLocator(100)
ax.yaxis.set_minor_locator(minorLocatory)
ax.xaxis.set_minor_locator(minorLocatorx)
ax.grid(which = 'minor')
ax.axis([-1000, 21600, -300, 4400])
ax.set_title("RESPONSE OF SENSORS -RESISTIVE - %s" % str(Archivo))
ax.set_xlabel("Time")
ax.set_ylabel("Amplitude")
ax.plot(x, data)
ax.axis([0, 10000, 1, 160])
plt.yscale('log')
ax.legend(["S1", "S2", "S4", "S5", "S6", "S7", "S8", "S9", "S10", "S11", "S12", "S13", "S14", "S15", "S16"])
plt.grid()
plt.show()
```

Figura C.3: Código que se encargará de suavizar la señal y de graficarla

```
##### Filtro #####
N=4
Wn=0.4

matriz= np.array(matriz)
B,A = signal.butter(N,Wn,output='ba')
temp=matriz[:,0].reshape(len(matriz), 1)
a= signal.filtfilt(B, A, temp,padlen=0)

for p in range(1,16):
    temp=matriz[:,p].reshape(len(matriz), 1)
    y= signal.filtfilt(B, A,temp,padlen=0)
    a=np.c_[ a, y]

print(data-a)
n=len(a)
x=range(n)

fig, ax = plt.subplots()
minorLocatory=MultipleLocator(50)
minorLocatorx=MultipleLocator(100)
ax.yaxis.set_minor_locator(minorLocatory)
ax.xaxis.set_minor_locator(minorLocatorx)
ax.grid(which = 'minor')
ax.set_title("RESPONSE OF SENSORS - FILTERED - %s" % str(Archivo))
ax.set_xlabel("Time")
ax.set_ylabel("Amplitude")
ax.plot(x,a)
plt.yscale('log')
ax.legend(["S1", "S2", "S3", "S4", "S5", "S6", "S7", "S8", "S9", "S10", "S11", "S12", "S13", "S14", "S15", "S16"])
plt.show()
```

Figura C.4: Código para la extracción de característica

```
##### Extracción de características donde pasa de ser prueba a ser una muestra #####
V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7,V8,V9,V10,V11,V12,V13,V14,V15,V16=[[],[],[],[],[],[],[],[],[],[],[],[],[],[],[],[]]

for B in range(15,16):
    vector1=[]
    for i1 in range(len(a)):

        ### vectores #####
        vector1.append(a[i1][B])
        vector2 = vector1[0:200]
        Gm = vector1[170:-1]

        ### características ###
        Go,y=ObtenerDeltas(vector1) # Go - conductancia inicial
        Gf= vector1[-1] # Gf - conductancia final
        Gmax = max(vector1) # Gmax - valor conductancia maxima
        tmax = vector1.index(Gmax) # tmax - valor tiempo donde se presente conductancia max
        tetai = DE(vector2,media(vector2)) # tetai - desviacion final
        Mo = media(vector2) # Mo - media aritmetica de Gm
        Gmax_Go = Gmax/Go # Gmax_Go - Razon de cambio
        Delta_G = Gmax-Go # Delta_G - Varianza de cambio
        Gmax_Go_n =Delta_G/Go # Gmax_Go_n - razon de cambio normalizado
        #####

    VC= [Go,Gf,Gmax,tmax,tetai,Mo,Gmax_Go,Gmax_Go_n,Delta_G]
    lista.append(VC)
```

Figura C.5: Algoritmo PCA Parte 1

```
def PCA_gen(Goutn, labels, labels_orig):
    cov = np.ma.cov(traspuesta(Goutn))
    #traspuesta
    U, S = np.linalg.eig(cov)

    U = U.tolist()
    S = S.tolist()

    val = U
    vec = S

    complet = []
    for v in val:
        pos = val.index(v)
        col = ObtenerColumna(vec, pos)
        complet.append([v, col])

    val.sort()
    val = val[::-1]

    col = 0
    for v in val:
        for d in complet:
            if v == d[0]:
                for i in range(0, len(vec)):
                    vec[i][col] = d[1][i]
                col += 1

    Var = []
    sum_val = sum(val)
    for i in range(0, len(val)):
        operation = (val[i]*100)/sum_val
        Var.append(operation)

    VarT = []
    for i in range(0, len(Var)):
        if i == 0:
            value = Var[i]
        else:
            value = Var[i] + VarT[i-1]
        VarT.append(value)
```

Figura C.6: Algoritmo PCA Parte 2

```
op = -1
while op == -1:

    print("Desea graficar?")
    print("0. No")
    print("1. Si")
    opcion = raw_input(">>> ")
    if opcion in ["0", "1"]:
        op = int(opcion)

if op == 0:
    pass
else:
    porvar=[round(VarT[0],2), round(VarT[1],2), round(VarT[2],2)]
    GraficarPCA(scores, labels, labels_orig, porvar)
    #GraficarPCA(scores, labels, labels_orig)
return [scores, loads]
```

Figura C.7: Código de la función de la Desviación estándar y de la media aritmética

```
#####  
  
def DE(valores,media):      ## desviacion de una poblacion  
    suma=0  
    contador=0  
    for valor in valores:  
        contador=contador +1  
        suma +=(valor-media)**2  
  
    radicando = suma / contador  
  
    return sqrt(radicando)  
  
def media(valores):        ## media aritmetica  
    suma=0  
    c =0  
    for valor in valores:  
        suma += valor  
        c=c+1  
  
    return suma /c
```

Figura C.8: Funciones usadas en el código

```
def transposematriz(matriz):  
    filas=len(matriz)  
    colum=len(matriz[0])  
    salidatransp=[[matriz[j][i] for j in xrange(filas)] for i in xrange(colum)]  
    return salidatransp  
  
def normalizacion(Gout):  
  
    #Goutn = Gout / Gout.max(axis=0)      ### 1 forma  
    Goutn=(Gout - Gout.min(0)) / Gout.ptp(0)  ### 2 FORMA DE toma los datos negativos  
  
    return Goutn  
  
def ObtenerColumna(matriz, posicion):  
    col = []  
    i = 0  
  
    for fila in matriz:  
        try:  
            col.append(float(fila[posicion]))  
            i += 1  
        except Exception as e:  
            pass  
            print("Error al hallar la columna respectiva:")  
            print(matriz)  
            print(posicion)  
            print(fila)  
            print(i)  
            raw_input()  
  
    return col
```

ANEXO D

D.1. Código de arduino

Figura D.1: Se encarga de llamar las librerías

```
#include <WiFi.h> //Wifi library
#include "esp_wpa2.h" //wpa2 library for connections to Enterprise networks
#include <HTTPClient.h>
#define EAP_ANONYMOUS_IDENTITY "213428"
#define EAP_IDENTITY "213428"
#define EAP_PASSWORD "xxxxxxxxxx"
#include <ArduinoJson.h>

// Libraries for SD card
#include "FS.h"
#include "SD.h"
#include <SPI.h>

// Define CS pin for the SD card module
#define SD_CS 5

// Save reading number on RTC memory
RTC_DATA_ATTR int readingID = 0;
```

Figura D.2: Código donde se encarga de hacer la conexión a WIFI

```
WiFiClient client;
void setup() {

  // Conexion a WIFI
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to network: ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.disconnect(true); //disconnect form wifi to set new wifi connection
  WiFi.mode(WIFI_STA); //init wifi mode

  esp_wifi_sta_wpa2_ent_set_identity((uint8_t *)EAP_ANONYMOUS_IDENTITY, strlen(EAP_ANONYMOUS_IDENTITY));
  esp_wifi_sta_wpa2_ent_set_username((uint8_t *)EAP_IDENTITY, strlen(EAP_IDENTITY));
  esp_wifi_sta_wpa2_ent_set_password((uint8_t *)EAP_PASSWORD, strlen(EAP_PASSWORD));
  esp_wpa2_config_t config = WPA2_CONFIG_INIT_DEFAULT(); //set config settings to default
  esp_wifi_sta_wpa2_ent_enable(&config); //set config settings to enable function
  WiFi.begin(ssid); //connect to wifi
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
  }
```

Figura D.3: Código que se encarga de hacer la conexión con el módulo de SDcard para guardar los datos

```
// Write to the SD card (DON'T MODIFY THIS FUNCTION)
void writeFile(fs::FS &fs, const char * path, const char * message) {
    Serial.printf("Writing file: %s\n", path);

    File file = fs.open(path, FILE_WRITE);
    if(!file) {
        Serial.println("Failed to open file for writing");
        return;
    }
    if(file.print(message)) {
        Serial.println("File written");
    } else {
        Serial.println("Write failed");
    }
    file.close();
}

// Append data to the SD card (DON'T MODIFY THIS FUNCTION)
void appendFile(fs::FS &fs, const char * path, const char * message) {
    Serial.printf("Appending to file: %s\n", path);
```