



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO SOBRE UNA PLATAFORMA MÓVIL PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE

Autor

Frank Pablo Fernández Pérez

Directores

M.SC. Jesús Eduardo Ortiz

Dr. Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero

Dr. Cesar Augusto Peña

Ingeniería Electrónica

**Departamento de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, Sistemas
y Telecomunicaciones**

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Universidad de Pamplona

2016





Tabla de contenido

Agradecimientos	x
Resumen	xii
Palabras clave:	xiii
Introducción	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Metodología	5
Antecedentes	8
Tecnología GSM	8
Evolución de la tecnología GSM:.....	9
Velocidades de transmisión de tecnología GSM en Colombia	11
Ventajas	12
Desventajas	13
Codificación.....	14
Olfato electrónico	14
Olfato Biológico.....	16
Comparación sistema biológico Vs. sistema electrónico	17
Algunas Aplicaciones de los Sistemas de olfato electrónico (SDOE)	20





Principal desventaja de los SDOE.....	22
Sensores de gas.....	23
Tipos de sensores.....	23
<input type="checkbox"/> Basados en semiconductor de óxido metálico	23
<input type="checkbox"/> Basados en onda acústica de superficie	23
Familias de los sensores de gas	24
Sensores de gas MQ.....	24
Sensores de gas Fígaro	25
Conexión.....	26
Tarjeta de desarrollo Arduino	27
Tarjeta de desarrollo Arduino Uno	29
Datos técnicos de tarjeta de desarrollo Arduino Uno	30
Conversión análoga - digital.....	31
Arduino y la conversión análoga – digital	31
Matlab	32
Arduino y Matlab	32
Calidad del aire.....	32
Tipos de contaminantes y fuentes de emisión.....	32
Principales contaminantes en el aire.....	33
Compuestos nitrogenados:.....	34
Compuestos Azufrados	35
Monóxido de Carbono (CO)	35
Dióxido de carbono (CO ₂).....	36





Combustos orgánicos volátiles (VOC)	36
Ozono (O3)	36
Material particulado (PM)	37
Selección del sensor.	38
Tipos de sensores a usar.....	39
MQ-7 el cual posee:	39
MQ-9 el cual posee:	40
MQ-131 el cual posee:	40
MQ-135 el cual posee:	41
Sistema de transmisión inalámbrica.....	42
Comunicación Bluetooth	42
Comunicación Infrarroja	42
Comunicación Wifi	43
Comunicación GSM	43
Sensores usados	45
MQ-9	45
MQ-135	47
Conexión de los sensores	49
Elección del sistema de transmisión	50
Tarjeta de desarrollo Sim900	50
Comunicación GSM y Arduino	51
Obtención del puerto virtual que se le asignó a la tarjeta arduino	52





Programación para la tarjeta sim900.....	56
Comandos AT	56
Trasmisión	58
Recepción y sistema de codificación	59
_____	62
Elección de los sensores	63
Transmisión inalámbrica	63
Etapa de transmisión de los datos	64
Etapa de recepción de los datos	65
Etapa completa	66
Pruebas de campo.....	70
Fase terminada	77
Conclusión	81
Bibliografía.....	83

Lista de Tablas

Tabla 1. Principales distribuidores de sensores.	16
Tabla 2. Aplicación de La SDOE en productos alimenticios.	22
Tabla 3. Datos técnicos de Arduino Uno. [11]	31
Tabla 4. Comandos AT	58
Tabla 5. Valores recibidos desde el móvil	66
Tabla 6. Valores tomados en prueba estática.	70
Tabla 7. Valores Prueba Real	77
Tabla 8. Equivalencia grados de carboxihemoglobina a ppm.....	77





Lista de Figuras

Figura 1. Ciclo de captación de datos	6
Figura 2. Olfato Biológico.[6]	17
Figura 3. Olfato Electrónico [6].....	18
Figura 4. Secuencia de trabajo para el análisis.....	19
Figura 5. Sensores de Gas MQ.....	25
Figura 6. Sensores de la familia figaro.....	26
Figura 7. Diagrama de conexión de sensores de gas [8]	27
Figura 8. Tarjetas de desarrollo Arduino	29
Figura 9. Tarjeta de desarrollo Arduino Uno [11].....	30
Figura 10. Fuente de contaminantes atmosféricos. [9].....	33
Figura 11. Diferencia representativa de material particulado[9]... 38	
Figura 12. MQ-7	39
Figura 13. MQ-9.....	40
Figura 14. MQ – 131	41
Figura 15. MQ - 135.....	42
Figura 16. Sensibilidad del sensor MQ-9 [13]	46
Figura 17. Comportamiento del sensor de acuerdo a la humedad presente.[13].....	47
Figura 18. Sensibilidad del sensor MQ-135[8].....	48
Figura 19. Comportamiento del MQ-135 con respecto a la humedad del aire.[8]	48
Figura 20. Esquema de conexión de sensores de gas.....	49
Figura 21. Tarjeta de desarrollo SIM900.[14]	50
Figura 22. Interconexión GSM y Arduino	52
Figura 23. Pantalla de equipo de Windows	53





Figura 24. Pantalla de Herramientas de sistema.....	54
Figura 25. Observar el COM de nuestra tarjeta arduino.....	55
Figura 26. Comunicación matlab y arduino	55
Figura 27. Comunicación arduino y sim900	58
Figura 28. Sistema de codificación	59
Figura 29. Esquemático de los sensores MQ.....	60
Figura 30. Placa de los sensores interconectada a la tarjeta Arduino Uno.....	61
Figura 31. Apertura de monitor serie de arduino	64
Figura 32. Monitor serie de arduino	65
Figura 33. Circuito completo.	67
Figura 34. Toma de datos de prueba.	68
Figura 35. Toma de datos parte 1.....	71
Figura 36. Toma de datos Parte 2.....	72
Figura 37. Vista frontal del Drone y trasera del sistema.	78
Figura 38. Vista lateral del Drone y sistema.....	79
Figura 39. Vista Trasera del Dron y frontal del sistema.....	80





Prefacio

DQS is member of:





Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750 - www.unipamplona.edu.co



Una universidad **incluyente** y **comprometida** con el desarrollo integral



a lo largo de los años académicos, enriquecieron la formación profesional e integral como estudiante.

A mis compañeros y amigos que siempre estuvieron en los momentos donde más los necesité.

Por supuesto a la Universidad de Pamplona y la gran ciudad estudiantil; por acogerme en su clima frío producto de las montañas que la bañan de neblina y tonos grisáceos, con la calidez de su gente quienes acogieron mis sueños durante este corto trayecto.





Resumen

El proyecto se basó en el sistema de una nariz electrónica desarrollado inicialmente por los estadounidenses Richard Axel y Linda B. Buck. El cual constató la detección de diversos volátiles comunes en el medio. Debido a ello se procedió a una fase de selección y elección de estos para establecer cuáles serían más adecuados.

El sistema de narices electrónicas se constituye de cuatro (4) segmentos o bloques los cuales son requeridos. Estos son:

- Fase de adquisición del dato, donde el sistema adquiere los diversos volátiles por medio de los sensores.
- Conversión análoga – digital, encargada de tomar una variable física y llevarla a términos de voltaje para poder ser trabajada en el sistema.
- Fase de procesamiento, es la encargada de dar valores numéricos al sistema.
- Fase de visualización, se aprecian los datos arrojados por el sistema.

El sistema adicionalmente contiene una fase de trabajo requerida para encargarse de la transmisión y recepción de los datos. Usando la tecnología Group Special Mobile o GSM, permitiendo



grandes distancias e interconectar de esta manera el maestro esclavo trabajado.

Palabras clave:

Arduino, Drone, GPS, Gas, Sistema, Sensores, Volátiles.

DQS is member of:





Introducción





Introducción

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la problemática del medio ambiente se extiende y preocupa cada vez más. Arraigada a las comunidades y afectando a los seres vivos que habitan el planeta. Motivo por el cual es de gran importancia velar por este con ayuda de diversas herramientas tecnológicas que permitan contribuir en su mejoramiento.

Por tal razón, en Colombia existen catorce (14) entidades para el tratamiento de la calidad del aire, donde se toman muestras globales que sirven como referencia para los volátiles como el monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y material particulado que se pueden muestrear utilizando sensores, para de esta manera evitar un veredicto global y pasar al punto más específico, con el fin de ver qué medidas pueden ser tomadas en el futuro con respecto a estas.

Para el proyecto el sistema se centró en los volátiles cuyo índice de concentración se apreciaban de manera más agrupada, siendo estos el monóxido de carbono (CO) y el material particulado por la gran concentración de vehículos valorados actualmente; por tal razón se creyó necesario que estos fuesen el centro de partida.



De esta manera la investigación tuvo una manera práctica para analizar los datos; implícitamente en lugares donde el ser humano no llega de manera fácil como chimeneas, copas de los árboles, sobre calles con vehículos en circulación, entre otros.





Objetivo General

El proyecto se llevó a cabo buscando enfatizar una alternativa para el aporte tecnológico al medio ambiente. Que cumpliera con los estándares de calidad, rentabilidad y viabilidad económica. Por lo tanto se generó el siguiente objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema embebido sobre una plataforma móvil para el análisis de la calidad del aire.

Objetivos Específicos

- *Realizar un criterio de selección de los sensores a partir del análisis químico ambiental el cual permita determinar que volátiles se estudiarán.*
- *Realizar la ingeniería básica de detalle del sistema de adquisición, para los sensores de calidad del aire.*
- *Desarrollar un sistema de transmisión inalámbrica.*
- *Implementar un sistema de codificación para los datos provenientes de los sensores.*
- *Acoplar los sistemas de adquisición y transmisión para una plataforma móvil.*
- *Validar el funcionamiento del sistema desarrollado.*



Metodología

Inicialmente se estudió los volátiles más comunes contenidos en el aire, lo que proporcionó una idea acerca de los sensores a usar para evaluar la calidad del aire.

De esta manera y una vez definidos los sensores a aplicar se procedió a la búsqueda de una tarjeta de desarrollo que permitiera hacer la fase de procesamiento, para finalmente entrelazarlo con la etapa de transmisión y recepción del mensaje y finalmente la visualización de los datos. La tarjeta debió cumplir con los parámetros establecidos para evitar tener gastos innecesarios en dispositivos externos.

Una vez elegida la tarjeta se procedió a realizar pruebas de campo que permitieran ver y tener datos de los sensores comprados con las curvas características, niveles máximos establecidos por la ley de estos gases para así determinar la calidad del aire en la zona, incitando a un aumento en la zona del sensor completando la calibración del mismo, hecho desde un punto estático para tener valores de referencia.

Una vez completada esta etapa se probó sobre la plataforma móvil, la cual permitiría obtener los valores exactos e impedimentos que pudieran presentarse desde un punto en movimiento. Los cuales debieron pasar a calibrarse con base en los valores desde el punto estático tomados anteriormente. Una vez completada esta fase se optó por la visualización de los datos



en un ordenador de manera más atractiva, usando una interfaz gráfica dedicada a este propósito el cual se conectó con los datos recibidos desde la tarjeta receptora de los datos, reenviando un mensaje de verificación que confirmara el informe recibido satisfactoriamente. Una vez finalizado el proceso, el ciclo vuelve a repetirse constantemente.

La figura 1. Describe de manera sencilla el ciclo que se llevara a cabo para el estudio de los volátiles.

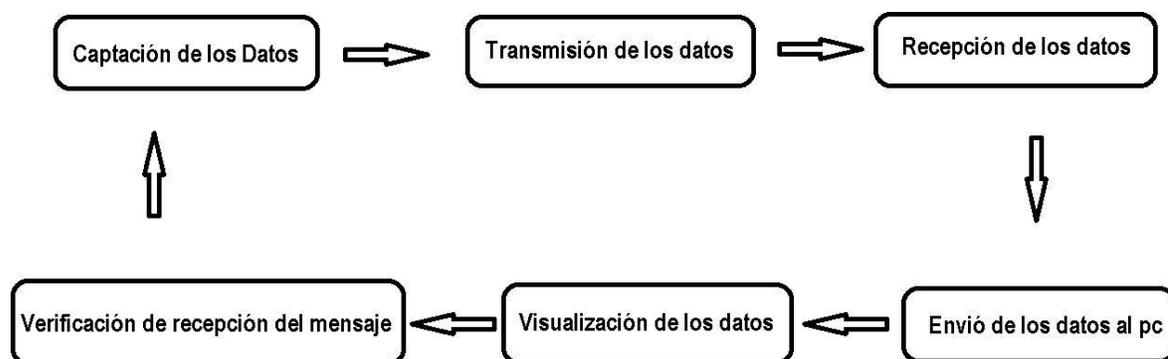


Figura 1. Ciclo de captación de datos



Marco Teórico

DQS is member of:





Antecedentes

Tecnología GSM

Sistema embebido o también denominado empotrado. Se ejecuta en una electrónica programable con unos recursos Hardware muy limitados, que por lo general debe reaccionar en tiempo real a sucesos externos del sistema. En numerosas ocasiones, el sistema es alimentado por una batería. Lo cual implica que el Firmware debe ser diseñado cuidadosamente para minimizar el consumo de energía.

Los modelos de nuestro sistema están enfocados hacia el área de la electrónica y telecomunicaciones los cuales permiten transmitir información a grandes distancias por medio de la tecnología GSM, y dicha información está compuesta de un modelo de captación de volátiles para hacer un estudio y mejorar la calidad del aire, por ello nos remontamos a dos áreas de conocimiento las cuales serán descritas.

Primero. El área de las telecomunicaciones y tecnología GSM se remonta a los años 1982 En la conferencia de telecomunicaciones CEPT de ese año fue creado el grupo de trabajo Group Special Mobile o GSM, cuya tarea era desarrollar un estándar europeo de telefonía móvil digital.

Fue ya hasta el año 1990 se finalizaron las especificaciones para el primer estándar GSM-900 y hasta dos años después (1992) se



pone en marcha en conjunto con los Nokia 1011, en los años siguientes se fueron interponiendo diversos estándares permitiendo así que se propagase por América Latina y Asia.

En 2000, el grupo de trabajo para la estandarización del GSM se pasó al grupo TSG GERAN (Technical Specification Group GSM EDGE Radio Access Network) del programa de cooperación 3GPP, creado para desarrollar la tercera generación de telefonía móvil (3G). El sucesor del GSM, UMTS, fue introducido en 2001, sin embargo su aceptación fue lenta, por lo que gran parte de los usuarios de telefonía móvil en el año 2010, siguen utilizando GSM. [1].

Evolución de la tecnología GSM:

1G. Primera Generación

En 1981, las compañías de telefonía móvil necesitaban algún estándar para que los teléfonos móviles pudiesen comunicarse entre ellos y de ahí surgieron la tecnología de primera generación o 1G, la cual solo soportaba llamadas de voz pero nada de tráfico de datos. Hoy en día, está en desuso.

2G. Segunda Generación

La tecnología 2G se presentó en el año 1992 y supuso un salto de la telefonía móvil analógica a una totalmente digital. Es una





tecnología que aún se utiliza a día de hoy y es conocida comúnmente como GSM. Con el 2G se pudieron empezar a transmitir datos y mandar los primeros mensajes de texto o SMS.

3G. Tercera Generación

El lanzamiento de la tecnología 3G en el año 2000 supuso un nuevo salto cualitativo en las comunicaciones móviles. La demanda de tasas de transmisión de datos crecía de forma constante y esto obligó a las compañías a seguir mejorando el servicio. Con el 3G se pudo empezar a navegar por Internet de forma fluida e incluso ver vídeos online (Youtube, Vimeo, etc). Actualmente, la velocidad máxima que se puede conseguir es de hasta 20Mbps.

4G. Cuarta Generación

2013 fue el año del lanzamiento definitivo de la tecnología LTE, comúnmente conocida como 4G. Actualmente está en una fase de despliegue en Europa y aunque la cobertura disponible no se acerca a la de 3G, sí que la inmensa mayoría de capitales ya tienen 4G. A día de hoy, la velocidad de transmisión real de estos servicios no mejora de forma ostensible el rendimiento de la cobertura 3G pero se espera que en los próximos años esté por encima de lo 50Mbps. [2]



Velocidades de transmisión de tecnología GSM en Colombia

En Colombia existen tres (3) distintos operadores, los cuales operan en el país los cuales ofrecen servicios de GSM y 3G (UMTS/HSDPA) los cuales operan con las siguientes frecuencias de operación.[3]

CLARO

- GSM: 850MHz
- UMTS/HSDPA: 850Mhz

MOVISTAR (Virgin Mobile)

- GSM: 850MHz
- UMTS/HSDPA: 850Mhz

TIGO (ETB, Móvil Éxito, Uff, UNE)

- GSM: 1900MHz
- UMTS/HSDPA: 1900MHz

Para el caso de 4G las frecuencias de operación discrepan en gran cantidad con las usadas en la tecnología 3G permitiendo de esta forma unas grandes velocidades de transmisión mucho mayor a estas descritas anteriormente, siendo las siguientes. [4]



TIGO y Movistar (ETB, Móvil Éxito, Uff)

- Banda 4 o AWS (1700MHz)

Claro y UNE

- Banda 7 (2500MHz)

Ventajas

- Identificación de cada usuario por el uso chip denominados Sim Card permitiendo así saber el usuario emisor y receptor al cual es enviada la información.
- Debido a que es posible almacenar la información en una tarjeta denominada SIM, facilita el traspaso de diferentes servicios (Mensajería, Agenda) de un Móvil a otro sin mayores problemas.
- Un área de cobertura muy amplia, y debido al convenio con varios agentes internacionales permite el uso de roaming internacional lo cual permite tener cobertura en diversas partes del mundo.





Desventajas

- La principal desventajas que presenta este sistema es que usa un mismo ancho de banda para una gran cantidad de usuarios lo que puede en ciertos momentos transmitir de manera un poco retardada debido a esto.
- Puede presentar interferencia con determinados dispositivos electrónicos.
- El nivel de seguridad respecto a otras tecnologías como CDMA es de menor calidad.
- Se limita solo a la red de cobertura planteado por la empresa usada.

Como se puede apreciar los sistemas GSM han venido evolucionando por más de treinta (30) años y con cada cambio vienen crecimientos en sus anchos de banda de manera exponencial, volviéndolos rápidos y confiables, permitiendo de esta forma que sea nuestro canal de comunicación por el cual usaremos por medio codificado para la recepción de los datos en nuestro sistema.





Codificación

Una codificación se conoce como todo aquello que implique una asignación de valores simbólicos o caracteres que de una manera nos permitan el no ingreso de valores no deseados por terceros a nuestro sistema.

El sistema trabajado ha usado una codificación que permite ignorar ciertos valores para dejar entrar solo aquellos deseados en el sistema y de esta forma evitar la interrupción de terceros y dar mayor garantía al método usado. [2]

Olfato electrónico

Un sistema de olfato electrónico es aquel que por medio de sensores específicos puede detectar diversos volátiles que hay en el aire haciendo de esta manera una variación en cambios de voltajes.

Esta idea se remonta al año 1920 en el cual se planteó solo como un pensamiento hasta los años 50's, cuando la compañía Bacharac Inc, construyó un dispositivo conocido con el nombre de Sniffer. Se basaba en un electrodo metálico en contacto con una superficie con una barra porosa saturada con un electrón diluido por lo cual no se llegaba a considerar netamente aun como una nariz electrónica.

En la década de los 80's en la Universidad de Warwick en Gran Bretaña y en el Argonne National Laboratory (ANL) en Estados



Unidos, el estudio realizado por Krishna Persaud y George Dodd, realizaron los primeros avances utilizando un conjunto de sensores semiconductores de óxidos metálicos, y luego ampliaron su investigación a sensores basados en polímeros conductores, además por otra parte se estaban estudiando una gran variedad de productos químicos y mezclas transportadas por ferrocarriles, barcos y automóviles.

Posteriormente en Japón se comenzó a investigar la frescura de los pescados utilizando matrices de sensores MOX (sensores semiconductores de óxido metálico). Por lo tanto, en los tres continentes se inició el desarrollo de la tecnología de matrices de sensores olfativos en los años 80 (Stetter y Penrose, 2001). Es precisamente en esta época cuando el concepto de nariz electrónica como sistema inteligente aparece. Una de sus primeras y más populares definiciones es la de Gardner y Barlett (Gardner y Barlett., 1999): “Instrumento que comprende una agrupación de sensores químicos con sensibilidades parcialmente solapadas junto a un sistema de reconocimiento de patrones, capaz de analizar y reconocer aromas simples o complejos”. [5]

Para los años 90's comenzaron a salir los primeros olfatos electrónicos referenciados de manera comercial destacando los conocidos sistemas de AlphaMOS (1993), Neotronics y Aromascan (1994). Otros modelos como la Cyranose 320 y la Znose (2000), fueron introducidas comercialmente para fines diferentes.

En la actualidad ya existen diversidad de sensores y muchos de ellos con propósitos específicos, lo cual incrementa mucho el

rango de eficacia de estos, a continuación en la tabla 1 podemos apreciar algunos de los sistemas más usados y sus respectivos comerciantes.

Compañía	Sistema
Agilent Technologies	4440
Alpha MOS, francia	Fox 2000, 3000, 4000, 5000 alphaKronos, alphaPrometheus, alphaCentauri, alphaGemini
Bloodhound Sensors, UK	UK Bloodhound BH114, OEM-modules under development
Chemsensing Inc	Chemsensing
Cyrano Sciences, US	Cyranose 320
Electronic Sensor Technology, US	zNose
Element, Iceland	FreshSense
Hewlett Packard, US	HP4440A
Lennartz Electronic, Alemania	MOSES II
Marconi Applied Technologies	e-nose 5000
Nordic Sensor Technologies	NST 3210, NST 3220, NST 3220A
Osmetech, UK and US	OMA, MultiSampler-SP, CP sensors
Smart Nose, Suiza	SMart Nose-300
SMart Nose-300	PEN, i-PEN, PEN-EDU

Tabla 1. Principales distribuidores de sensores.

Olfato Biológico

Para entender el funcionamiento del método de un sistema de olfato electrónico se debe enfocar en cómo funciona el olfato biológico, cuando se hallan moléculas de aire que entran por las fosas nasales estimuladas por la cilia (membrana donde se encuentran las células que captan los aromas) enviando

estimulaciones directamente al cerebro de las características que posea el volátil.

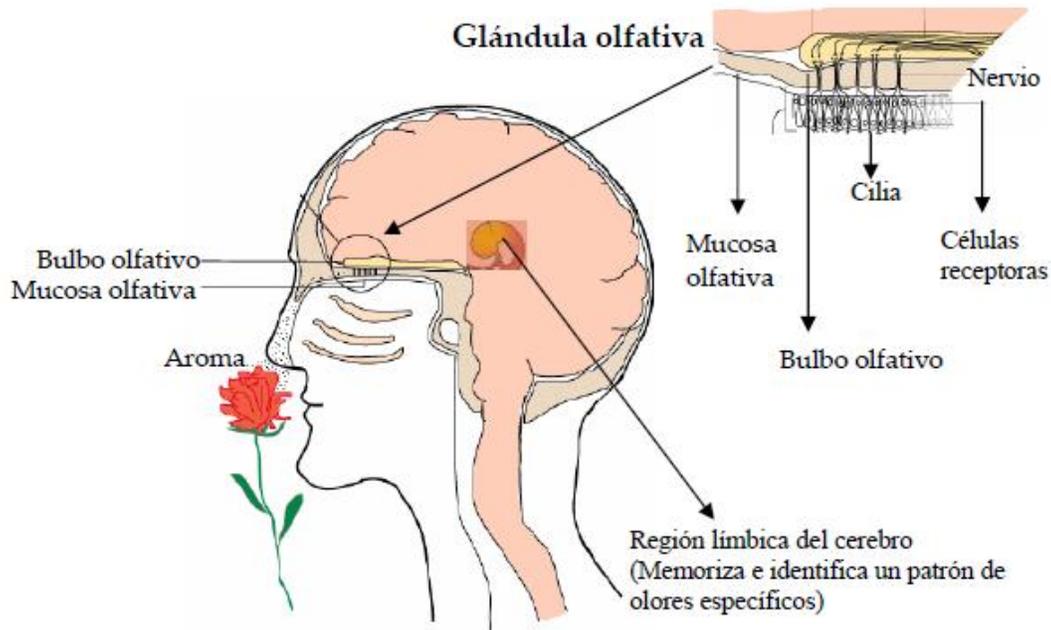


Figura 2. Olfato Biológico.[6]

Comparación sistema biológico Vs. sistema electrónico

En la figura 2, se muestra una comparación entre el sistema biológico y el sistema electrónico donde se observan los siguientes sensores (ver figura 3):

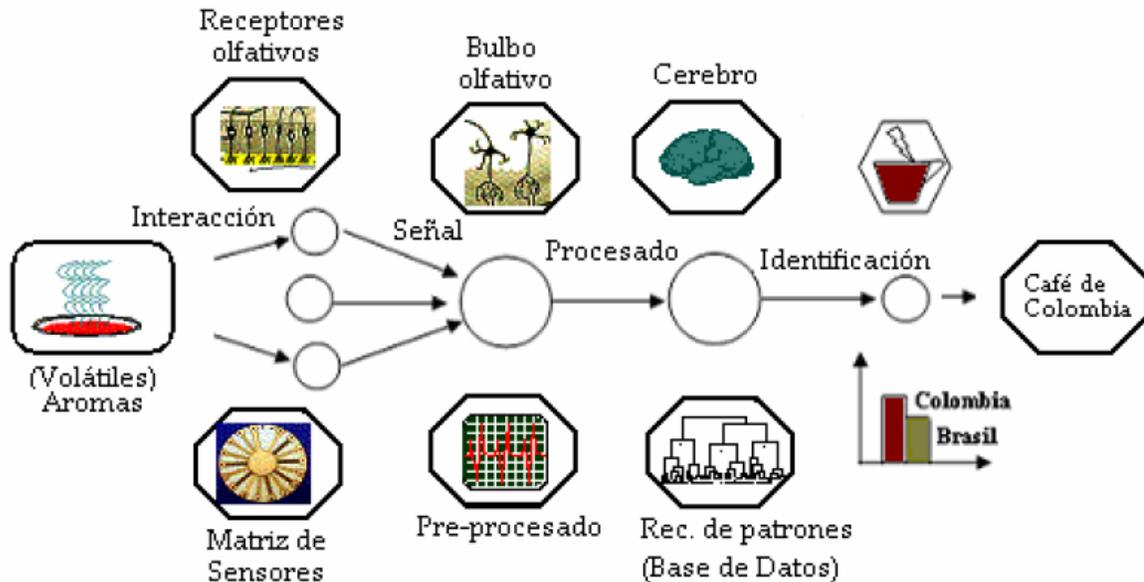


Figura 3. Olfato Electrónico [6]

En la figura 3, se aprecia en la primera parte “volátiles” que poseen dos (2) caminos en la parte superior:

- Los “receptores olfativos” los cuales son aquellos que poseemos todas las personas para poder percibir los olores.
- El bulbo olfativo que hace la detección y distribución de los olores enviando estas señales al cerebro que dicta el veredicto de cuál fue el aroma que se detectó.

En la parte inferior se avista el esquema de cómo se hace este mismo proceso en el campo de la electrónica, comenzando con la matriz de sensores, encargada de transformar la variable física en una variable numérica y medible.

Una vez comenzado el pre-procesado, se da el sentido a esos valores obtenidos y establecidos, para luego ser comparados con los valores patrones.

Al completar este proceso se procede a la fase de identificación, se dicta la sentencia de cuál ha sido el olor percibido.

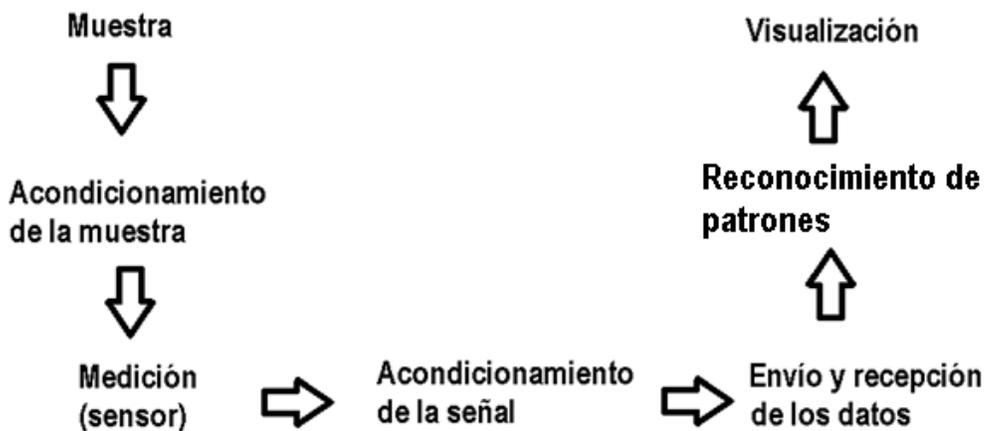


Figura 4. Secuencia de trabajo para el análisis.

En la figura 4, se puede observar el sistema de captación de datos de un olfato electrónico, el cual inicialmente procede a reconocer la muestra que puede ser cualquier tipo de volátil. Se recomienda que primero sea concentrado para incrementar la exactitud de la medida, por lo general las más usadas como las cámaras de concentración para esta parte.



En subsecuencia pasa a una fase de preparación, ajustando la muestra en las condiciones más óptimas para el sistema; sea este un sistema dinámico o estático en el que se puedan ir enviando datos de manera continua o manera puntual según los requerimientos del sistema.

Al llegar a la parte de los sensores, se analiza que estos son los encargados de tomar la medición de los datos; ya sea por cualquiera de los dos métodos descritos más adelante, cuando se describan los tipos de sensores existentes, teniendo en cuenta que estos generan señales eléctricas para así luego ser procesadas y trabajadas.

Después de lograr las señales requeridas y las curvas características de los sensores que se desean utilizar, se procede una vez a adquirir las señales implementadas remontadas a las curvas características de dichos sensores, para de esta manera escoger aquel que se adapte mejor al régimen de trabajo. Entre los sensores más conocidos del mercado se encuentran los Fígaro y MQ.

Algunas Aplicaciones de los Sistemas de olfato electrónico (SDOE)

Desde la elaboración de los primeros sensores de gas para los años noventa (90), se han venido desarrollando en el campo laboral muchas aplicaciones de estos. De esta forma se ha ido analizando y llegado a ver hasta qué punto y grados de exactitud

se pueden lograr; haciendo de esta manera algunas pruebas con diversidad de alimentos, estableciendo la comparación con datos reales y tangibles.

En la tabla 2, se pueden ver los experimentos hechos con diversidad de alimentos, dichas pruebas fueron tomadas entre los años 1990 hasta los años 2005, de esta manera dar confiabilidad hacia los diversos tipos de sensores.

Alimento	Descripción
Carnes	Procesado de pollo
	Fermentación de embutidos
	Calidad de carnes de llama y Alpaca
Frutas	Tiempo de recolección de las manzanas
	Grado de maduración de las frutas
	Melocotones: Recolección con el análisis sensoriales
	Aroma de peras
	Calidad de las fresas
	Madures de las bananas
Vegetales	Calidad de los tomates
	Infección de bacterias en plantas
Cereales	Infección de garrapatas
	Calidad microbiana
	Clasificación de aromas
Vinos	Identificación de vinos
	Tostado de barriles

	Correlación con análisis químicos
	Clasificación de vinagre
	Viñedos de producción
Lácteos	Madurez del queso
	Aplicación y revisión
	Sabores de la leche
Café	Descripción de aromas
	Análisis
	Discriminación de mezclas
Cervecería	Determinación del tiempo de cosecha
	Detección de aromas
	Detección de sabores
Pescado	Estado de conservación
Panadería	Detección de micro-organismos
Huevos	Estado de conservación
Crisps	Rancidez de las patatas fritas

Tabla 2. Aplicación de La SDOE en productos alimenticios.

Principal desventaja de los SDOE

Una de las principales desventajas que se debe tener en cuenta son las presentadas en estos sistemas por tener un margen de medición bastante bajos, debido a esto no hay pruebas que se hallan hecho esta clase de aplicaciones industriales en las que utilicen este tipo de instrumentos de forma rutinaria y debido a ello muchos de estos proyectos pierden credibilidad. Los anteriores



proyectos mencionados casi todos fueron financiados por medio de organizaciones públicas. [6]

Sensores de gas

Un detector de gas es un elemento que sufre un cambio físico o químico, reversible, en presencia de un gas, para dar una señal transmitida, mostrada o utilizada para operar alarmas y controles. Los analizadores se basan en general en propiedades características de los gases, tales como la conductibilidad térmica, el paramagnetismo del oxígeno y el coeficiente de absorción infrarroja.

Tipos de sensores

- **Basados en semiconductor de óxido metálico**, estos sensores están formados por una fina lámina de semiconductor de cierto óxido metálico. Después de la exposición tiene lugar un cambio en la conductancia del material y esto es lo que se utiliza para caracterizar la sustancia olorosa. Este tipo de sensores tienden a ser los más utilizados gracias a su gran accesibilidad y que pueden operar en temperaturas que van desde los 100 °C hasta 600 °C. [7]
- **Basados en onda acústica de superficie**, estos sensores hacen uso de las ondas acústicas conocidas como ondas Rayleigh en honor de su descubridor. Este tipo de sensores



están hechos normalmente de un cuarzo el cual se recubre con una delgada capa de polímero que reacciona con el contacto de ciertos gases. Las ventajas de este tipo de sensores son su alta sensibilidad, pueden ser producidos en masa con alta reproducibilidad. Sin embargo, han de excitarse con radiofrecuencia el aumento de la miniaturización puede ser un problema a la hora de aplicar dicha excitación. [7]

Familias de los sensores de gas

Sensores de gas MQ.

Los sensores de gas de la serie MQ, utilizan un pequeño calentador en el interior con un sensor electro-químico. Son sensibles para una gama de gases y se utilizan en interiores a temperatura ambiente. Ellos pueden ser calibrados, pero ser requiere una concentración conocimientos del gas o gases con la medida necesaria.

De esta misma manera el sensor usa una resistencia de carga que oscila con valores entre 2k Ohm y 47k Ohm, y mientras mayor sea el valor menos sensible será. Asimismo, mientras mayor sea el valor menos precisa serán para concentraciones de gas elevadas.



Figura 5. Sensores de Gas MQ

Sensores de gas Fígaro

La familia fígaro ofrece una amplia gama de sensores de gas que se caracterizan con base en gases explosivos tales como el propano y los gases tóxicos como el monóxido de carbono. De la misma manera recurre a ciertos tipos de sensores para la calidad del aire de compuestos orgánicos volátiles (COV).



Figura 6. Sensores de la familia figaro

Conexión

La conexión para este tipo de sensores se da de manera sencilla como muestra la figura 7. En el cual las H marcan los pines positivos y negativos del sensor los cuales al ser resistivos no presentan ninguna polaridad, dado esto puede cualquiera de los dos funcionar tanto positivo como negativo. Los pines A y B se conectan entre sí para dar un margen de confianza mucho más elevado y llevando uno de estos al voltaje positivo y el otro a una resistencia de carga.

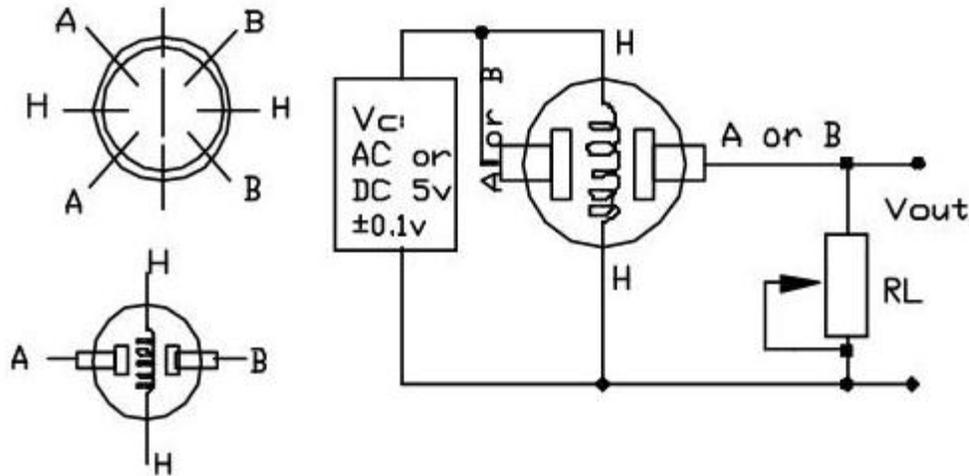


Figura 7. Diagrama de conexión de sensores de gas [8]

Tarjeta de desarrollo Arduino

Arduino es una tarjeta electrónica de plataforma abierta, de fácil uso, que consta básicamente de una placa de circuito impreso que contiene un microcontrolador de la familia ATmega de la marca Atmel, fabricante a nivel mundial de semiconductores. Arduino posee una gran cantidad de ventajas a comparación de otras tarjetas de desarrollo, características que lo han convertido en una de las herramientas preferidas de los desarrolladores de proyectos relacionados con electrónica, telecomunicaciones, control, automatización y computación. Entre las características y ventajas más importantes de la tarjeta Arduino se encuentran las siguientes:



- El sistema se integra en una placa donde se encuentra todo listo para comenzar a ser utilizado.
- No requiere de un programador externo, en vez de ello, cuenta con la posibilidad de ser “autoprogramado” mediante el puerto USB de la computadora.
- Es multiplataforma, puede ser utilizado en ambientes Windows, Mac y Linux.
- Su lenguaje de programación es intuitivo y flexible.
- El costo no es tan elevado, a comparación de otras tarjetas de desarrollo basadas en microcontroladores.

Es un sistema de hardware y software libre, es decir, puede utilizarse libremente para desarrollar cualquier tipo de proyecto sin tener que adquirir ningún tipo de licencia.

La tarjeta Arduino se encuentra disponible en el mercado en diferentes versiones, la diferencia entre dichas versiones radica principalmente en las características técnicas del microcontrolador ATmega en el cual están basadas, lo que a su vez implica que el número de entradas y salidas, la capacidad de memoria y el tamaño de la tarjeta sean diferentes para cada versión.[10]





Figura 8. Tarjetas de desarrollo Arduino

Tarjeta de desarrollo Arduino Uno

Arduino / Genuino Uno es una placa electrónica basada en el ATmega328P. Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 se podrán utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar. Puede jugar con el UNO sin worrying demasiado por hacer algo mal, en el peor de los casos puede sustituir el saltar por unos pocos dólares y empezar de nuevo.[11]

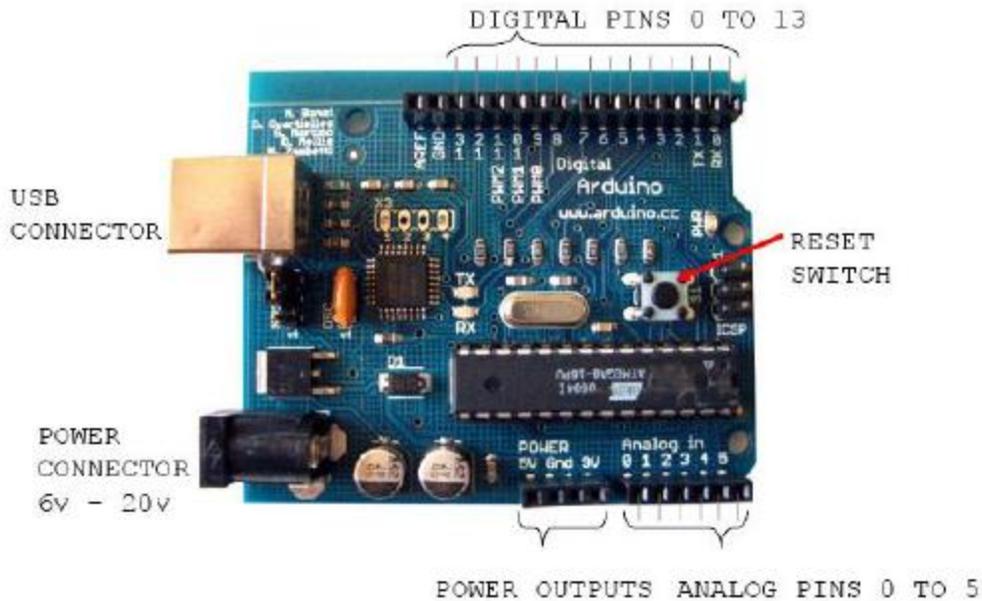


Figura 9. Tarjeta de desarrollo Arduino Uno [11]

Datos técnicos de tarjeta de desarrollo Arduino Uno

Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 - 12 V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
E/S Digitales prendedores	14(de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
PWM digital pines I/O	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua para Pin I/O	20 mA

Corriente CC para Pin 3.3V	50 mA
Memoria flash	32KB(ATmega328P) 0,5KB usados para arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25g

Tabla 3. Datos técnicos de Arduino Uno. [11]

Conversión análoga - digital

La conversión analógica – digital es una operación usada para convertir atributos físicos en valores numéricos lo cual cabe mencionar que es uno de los mayores fuertes en este proyecto.

Arduino y la conversión análoga – digital

La tarjeta de adquisición posee entre su funcionamiento seis (6) pines que permiten la conversión análogo-digital, la cual posee una resolución hasta 10 bits (mil veinticuatro valores diferentes (1024)), con la contraindicación que su velocidad de conversión no es de las más rápidas, pero es suficiente para las necesidades requeridas.



Matlab

Matlab es un entorno matemático enfocado en vectores que ayuda con la solución de problemas de este tipo. El nombre MATLAB proviene de "MATrix LABoratory" (Laboratorio de Matrices)

Arduino y Matlab

La comunicación entre un programa como Matlab es necesaria a la hora de querer comunicar este tipo de sistemas en conjunto con una interface gráfica, es por ello que esto es requerido.

Inicialmente se debe establecer una comunicación con el puerto generado con la tarjeta arduino, el cual si no lo sabemos se puede conocer fácilmente.

Calidad del aire

El termino calidad el aire hace referencia, cuando el viento de nuestro entorno esta excepto de polución atmosférica y por tanto es acto para ser respirado por el ser humano.

Tipos de contaminantes y fuentes de emisión

Las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos pueden ser clasificadas de acuerdo a la naturaleza de la misma fuente emisora y la forma como se emiten los contaminantes. En este

sentido las fuentes de emisión pueden ser biogénicas y antropogénicas. Las primeras hacen referencia las producidas por la naturaleza y entre éstas se encuentran las erosiones, los incendios forestales y las erupciones volcánicas. El segundo término se refiere a las emisiones causadas por actividades que realiza el hombre. Esta clasificación tiene a su vez una división en dos grandes grupos: fuentes móviles de emisión y fuentes fijas de emisión.



Figura 10. Fuente de contaminantes atmosféricos. [9]

Principales contaminantes en el aire

La mayoría de los contaminantes son limitados directamente a regiones o países debido a que la contaminación se debe a diversos factores. En Colombia existen catorce (14) entidades encargadas de dar este veredicto a través de los Sistemas de



vigilancia de calidad del aire. Por ello cuando se habla de la calidad del aire se recurre solo a limitarse directamente al país.

En Colombia los contaminantes más comunes según estas entidades son el monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y material particulado.[9]

Compuestos nitrogenados:

La principal fuente de emisión de NOx son por parte del sector del transporte en el cual se estiman más del cincuenta por ciento de las emisiones seguidamente de las plantas de generación de energía, teniendo como resultado los siguientes compuestos nitrogenados.

- Amoniacó (NH_3)
- Óxido Nitroso (N_2O), también conocido como efecto de invernadero.
- Óxido Nítrico (NO)
- Dióxido de Nitrógeno (NO_2), siendo este no un compuesto nitrogenado pero muy representativo en términos de emisiones antropogénicas.[12]



Compuestos Azufrados

Son producidos principalmente por fuentes fijas, sobretodo del sector privado, siendo estas termoeléctricas y fábricas del sector industrial, teniendo así emisiones de:

- Sulfuro de Hidrógeno (H_2S), se caracteriza por tener un olor muy fuerte y penetrante lo cual produce alta irritabilidad.
- Óxido de azufre (SO_x), este compuesto se caracteriza por ser tóxico, causante de crear lluvias ácidas y seguidamente material particulado. De esta misma manera crear problemas de visibilidad. [12]

Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono se caracteriza por ser indoloro e incoloro, es altamente tóxico y converge con graves efectos para la salud y en altas concentraciones o largas exposiciones puede llegar a ser mortal para el ser humano.

La principal fuente de emisión de CO es proveniente de vehículos, principalmente aquellos que están movidos por gasolina. El porcentaje aproximado de la emisión de este gas en el aire por medio de los vehículos representa cerca del cincuenta y cinco por ciento en el centro urbano.[9]



Dióxido de carbono (CO₂)

Este es producido en todos los procesos químicos que se lleve un procedimiento de combustión y a pesar de ser un gas inerte es el principal gas causante del efecto de invernadero.[9]

Combustos orgánicos volátiles (VOC)

Estos son emitidos por fuentes naturales tales como árboles y plantas, considerados como fuentes antropogénicas. Muchas de estas se han considerado como tóxicas debido a que pueden ocasionar irritaciones en el sistema respiratorio e inclusive algunos de estos compuestos son considerados como cancerígenos. Así como también muchas de estas sustancias pueden ser características por ser formadores de contaminantes secundarios.[9]

Ozono (O₃)

Es un gas particular que es creado a partir de la mezcla entre otros contaminantes tales como el NO_x y el VOC en presencia de luz solar. Y es considerado un contaminante en el aire solo cuando se encuentra en la tropósfera (parte baja de la atmósfera). Este contaminante se caracteriza por que aún en pequeñas concentraciones puede ser nocivo para la salud de las personas, comúnmente provocando inflamación en las vías respiratorias.[9]



Material particulado (PM)

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas muy pequeñas suspendidas en el aire (se conocen también como aerosoles). Son altamente perjudiciales para la salud de las personas dada su capacidad para penetrar las vías respiratorias. Y debido a esto mientras más pequeñas, aumenta el riesgo para los seres vivos puesto que incrementa la posibilidad de afectar el tracto respiratorio de aquellos que lo inhalen. Debido a esto son clasificadas de acuerdo a su reducido tamaño como:

Partículas suspendidas totales (PST): totalidad de partículas suspendidas en el aire.

- Fracción respirable (PM10): diámetro $\leq 10\mu\text{m}$.
- Partículas finas (PM2.5): diámetro $2.5\mu\text{m}$
- Partículas ultra finas: diámetro $\leq 0.1\mu\text{m}$
- En la figura 9 descrita a continuación se puede observar de manera representativa la diferencia entre estas partículas.

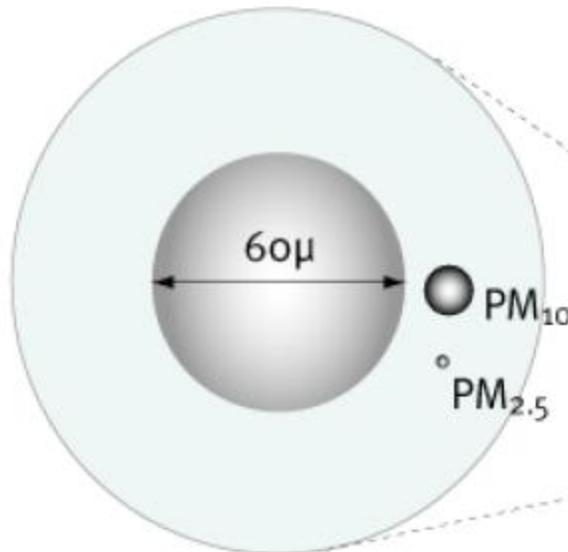


Figura 11. Diferencia representativa de material particulado[9]

Los diversos tipos de PM son creados de diversas formas siendo su principal fuente vehículos Diésel y la industria (los de mayor tamaño), mientras que los de tamaño más reducido son creados por reacciones especiales en la atmosfera.

Una vez conocidos todos los factores que están con mayor concentración en el aire, se procedió a buscar los diversos sensores que cumplieran este requisito mínimo para su captación.

Selección del sensor.

Anteriormente se expresó sobre las fuentes de emisión y contaminantes que posee el aire, por tal razón se procedió a estudiar cada uno de estos a fondo, teniendo como resultado que

en el aire existen cinco tipos de contaminantes principales (el monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y material particulado). Seguidamente, se llevó a cabo un estudio del por qué se producían estos contaminantes. Inmediatamente se decidió con cuál sensor se trabajaría en el proyecto.

Tipos de sensores a usar

Teniendo en cuenta los sensores tipo MQ., quienes cumplen más con los requisitos a la hora del censado se encuentran:

MQ-7 el cual posee:

Sensibilidad para el monóxido de carbono

Sensibilidad al gas natural.

Voltajes de operación 1.5 a 5 V.



Figura 12. MQ-7

MQ-9 el cual posee:

Sensibilidad para el monóxido de carbono.

Alta sensibilidad para metano, propano y monóxido de carbono

Voltajes de operación 1.5 a 5 V.

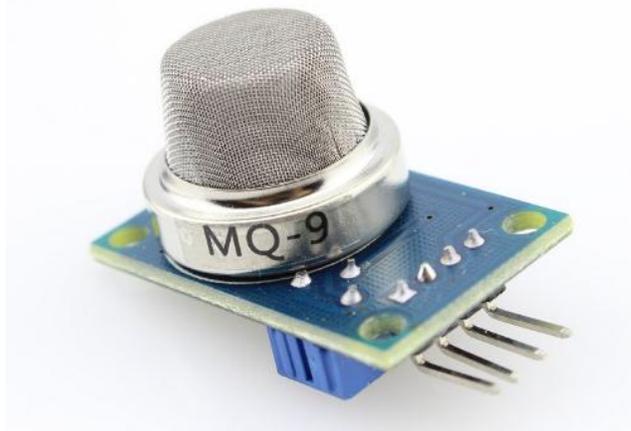


Figura 13.MQ-9

MQ-131 el cual posee:

Alta sensibilidad para Ozono

Voltaje de operación 6V.



Figura 14. MQ – 131

MQ-135 el cual posee:

Especializado para trabajar calidad de aire poseyendo una gama alta de captura de gases tales como:

10ppm – 300ppm NH₃

10ppm – 1000ppm benceno

10ppm – 300ppm Alcohol

Adicionalmente tiene captación para CO₂, CO.

Voltaje de operación 1.5 a 5V



Figura 15.MQ - 135

Sistema de transmisión inalámbrica

Una vez definido la manera en que se captarían los datos se procede a definir el método de comunicación el cual se utilizara en el sistema.

Entre los métodos que pueden cumplir estos requisitos se tienen:

Comunicación Bluetooth

Esta se caracteriza por poder transmitir tanto voz como datos mediante un enlace de radiofrecuencia pero su alcance es muy limitado puesto que varía entre 1m y 100m.

Comunicación Infrarroja

Estas poseen un gran rango de aplicación pero están muy limitadas a que sean trabajados a campo abierto debido a que



fácilmente puede perderse la información con la sola interrupción de algunos obstáculos.

Comunicación Wifi

Este tipo de comunicación es una de las más prestigiosas debido a que posee gran fiabilidad a la hora de transmisión de datos que oscilan alrededor de los 11 MB/seg, con el sistema 802.11b o 54Mb/seg con el sistema 802.11g así como poder trabajar a unas distancias de entre 100 y 150 m.

Comunicación GSM

Estas son las siglas de Global System for Mobile communications (sistema Global para las Comunicaciones Móviles), es un sistema abierto en el cual se puede comunicar datos y no tiene limitación de alcance debido a que está vinculada a la comunicación por vía satélite.





Elección de componentes y Desarrollo





Sensores usados

Se decidió usar dos tipos de sensores que se adaptaban a las necesidades del proyecto y a raíz de esto hacer un balance entre ellos; eligiendo de esta manera el MQ135 y el MQ-9 (enfoca con CO y algunos compuestos varios), de tal forma complementarlos y comprar los datos recopilados por el 135 en función a una variable con mayor concentración en el medio debido al sensor MQ-9.

Una vez elegido el sensor, se procedió a ver con qué sistema electrónico era compatible y fácil de trabajar, obteniendo de esta manera los microcontroladores de la familia Arduino.

A continuación se apreciarán los sensores usados de una manera más detallada.

MQ-9

Como ya se mencionó anteriormente, el sensor posee la particularidad de poder detectar concentraciones de monóxido de carbono, butano y propano. Estos captan entre 100 ppm hasta 10000 ppm de cada uno de los elementos mencionados, los cuales tienen mayor precisión entre 100 ppm y 1000 ppm, como se puede apreciar en la figura 16 en el eje de las **X** mientras que en contra en el eje de las **Y** se encuentra una ganancia con base en la resistencia de entrada y salida, creando de esta manera esta gráfica que muestra la sensibilidad del sensor.



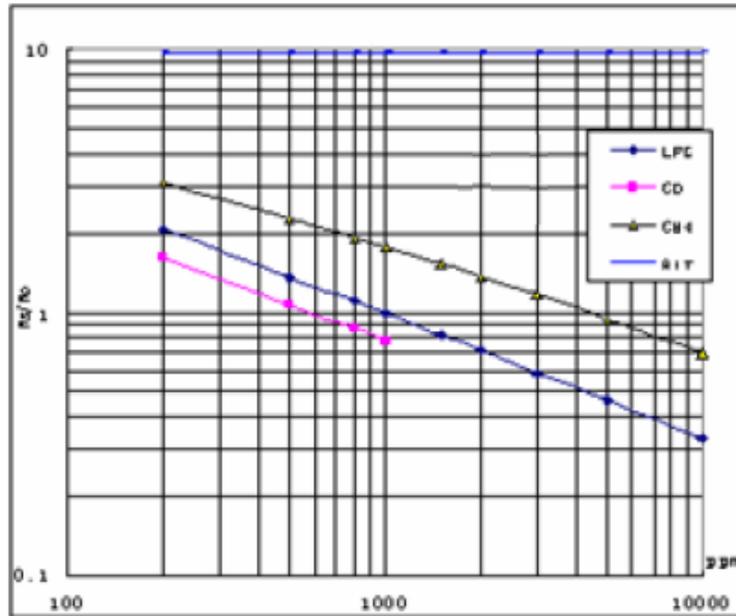


Figura 16. Sensibilidad del sensor MQ-9 [13]

Otra de las características importantes que debemos tener en cuenta a la hora de observar estos sensores es que esta ganancia se verá afectada por la temperatura ambiente debido a los materiales con los que estos están contruidos y tal como podemos ver en la figura 17. Esta ganancia va descendiendo a medida que la temperatura va incrementando. Además esta cada uno de los componentes que este puede medir como se aprecia en la gráfica.

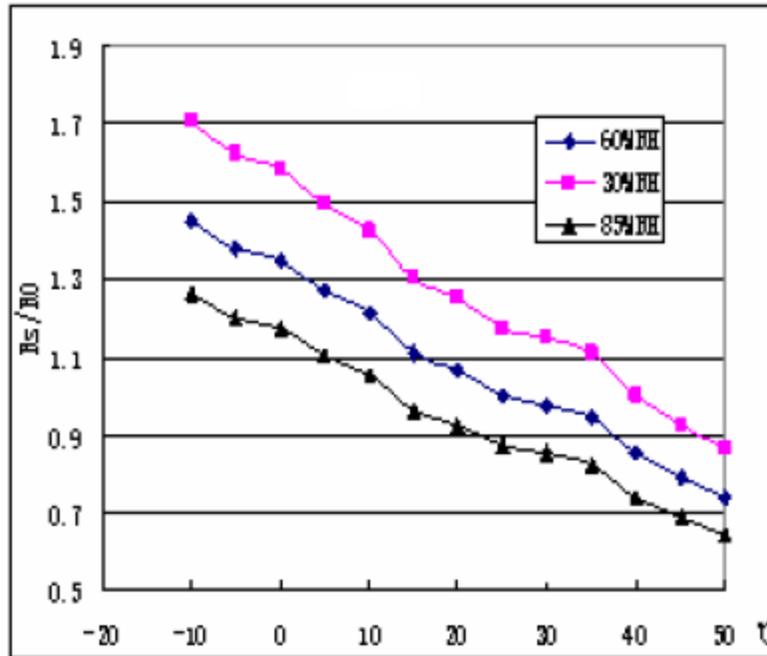


Figura 17. Comportamiento del sensor de acuerdo a la humedad presente.[13]

MQ-135

Este sensor tiene la capacidad de medir diversos volátiles en el aire. Este sensor es llamado sensor para calidad de aire, ya que tiene la capacidad de medir diversos volátiles presentes. El material particulado obtenido por estos comienza desde los 10 ppm hasta 100 ppm. De igual manera, el MQ-9 el MQ-135 se ve afectado por el grado de humedad que se encuentre en el aire figura 19.

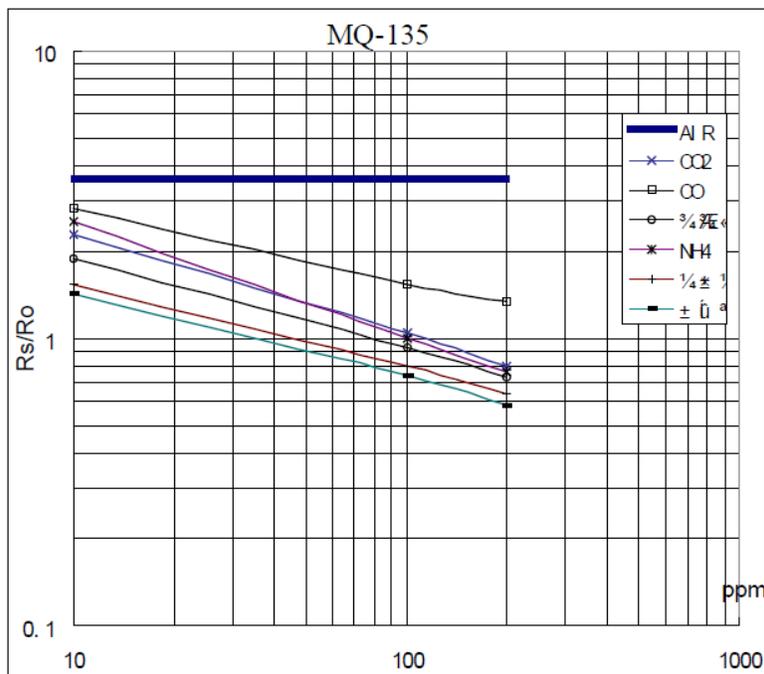


Figura 18. Sensibilidad del sensor MQ-135[8]

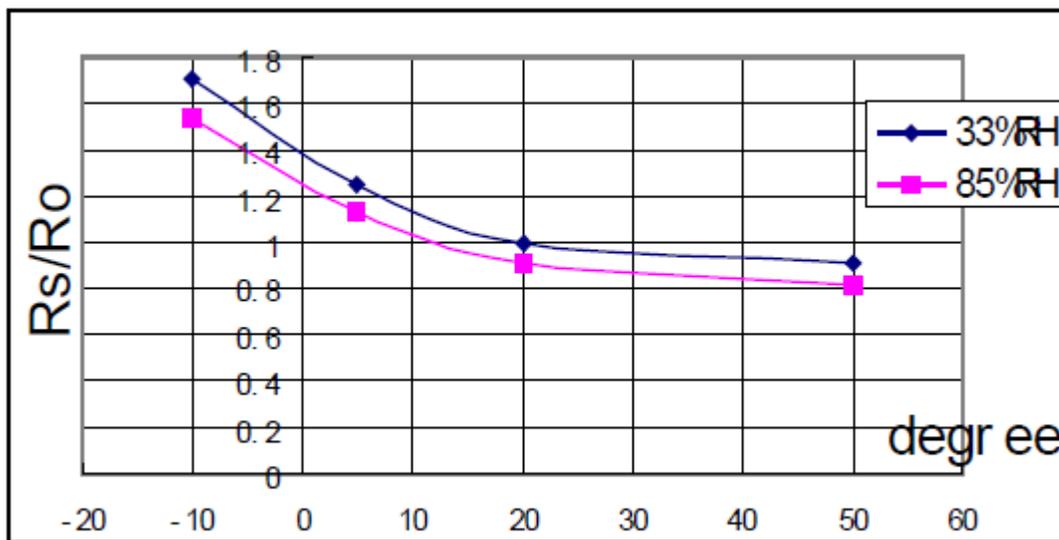


Figura 19. Comportamiento del MQ-135 con respecto a la humedad del aire.[8]

Conexión de los sensores

Se procede a realizar el montaje apreciado en la figura 7 para los sensores, mostrando de esta manera el esquema básico para los sensores de gas ubicándolos en paralelo; obteniendo lo siguiente:

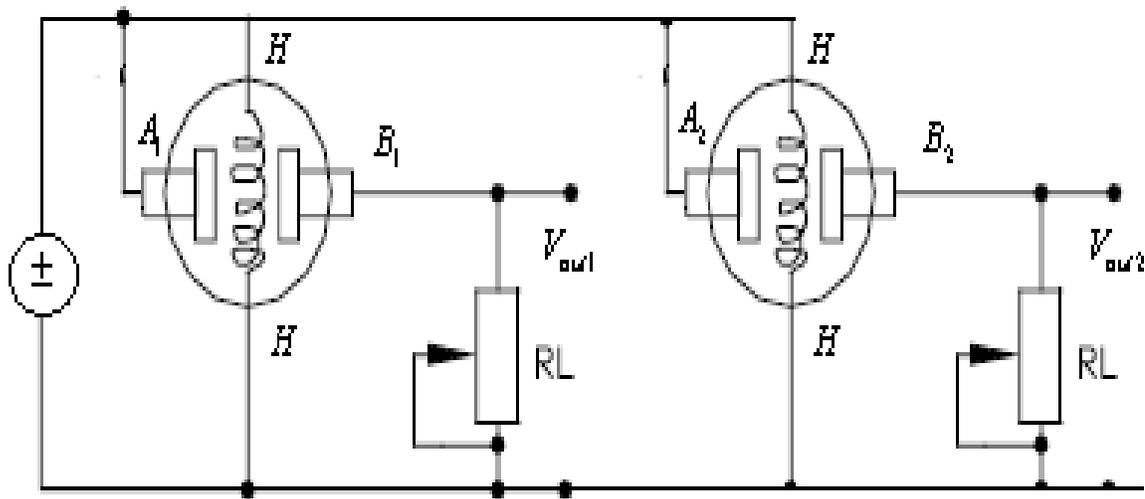


Figura 20. Esquema de conexión de sensores de gas.

La alimentación para ambos casos es la misma debido a que los sensores tienen una tensión de trabajo parecida que permite hacer esta interconexión y de igual manera la tarjeta de trabajo, lo cual se aprecia en la tabla 3. Debido a esto es posible inclusive usar una misma fuente de alimentación para ambos.

Elección del sistema de transmisión

Una vez analizado lo anterior, se procedió a elegir una de estas maneras de comunicación para el sistema, optando por aquellos que poseyeran gran cantidad de alcance y precisión. Conforme a esto, los que más cumplieron los requisitos fueron la comunicación Wifi y la GSM, por ello se escogió la comunicación GSM por tener menos limitaciones a la hora de requerir distancias largas.

Tarjeta de desarrollo Sim900



Figura 21. Tarjeta de desarrollo SIM900.[14]



La imagen anterior muestra una tarjeta de uso global la cual trabaja las siguientes frecuencias:

- GSM de 850 MHz.
- EGSM de 900MHz.
- PCS de 1900 MHz.

Como se aprecia en la primera parte del proyecto la tarjeta Sim permite la conectividad para redes GSM hasta de tercera generación y es compatible con las bandas de trabajo de diversas compañías.

Posee un voltaje de operación de 3.2V a 4.8V compatible con el sistema de alimentación del proyecto que se ha venido trabajando en el postulado anterior descrito, por lo que vuelve a esta tarjeta la mejor opción.

Comunicación GSM y Arduino

Al elegir la tarjeta de desarrollo arduino en el momento de optar por la comunicación GSM, faltaba recopilar información para obtener el tipo de compatibilidad con el sistema de comunicación escogido, de esa forma prever que tarjeta correspondiese al modelo adecuado para el proyecto, estableciendo finalmente la tarjeta de desarrollo SIM900 que permitiera intercomunicar la tarjeta de desarrollo en conjunto con la comunicación GSM.



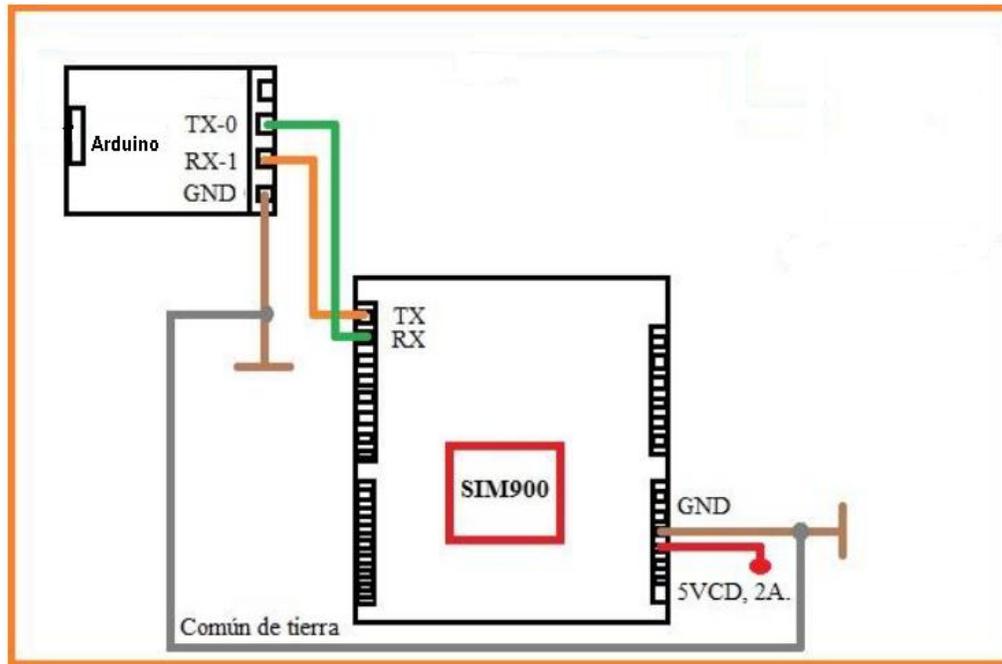


Figura 22. Interconexión GSM y Arduino

En la figura 21 se analiza que tipo de conexión se debe hacer para la tarjeta arduino junto al módulo SIM900. Se observa en especial que la tarjeta requiere una corriente de alimentación de 2^a. Puesto que, a la hora de enviar mensajes cuenta con una corriente de hasta 2A para su transmisión óptima.

Obtención del puerto virtual que se le asignó a la tarjeta arduino

Inicialmente se abrió el equipo, se procedió a darle click derecho sobre el espacio en blanco representado en la figura 23.

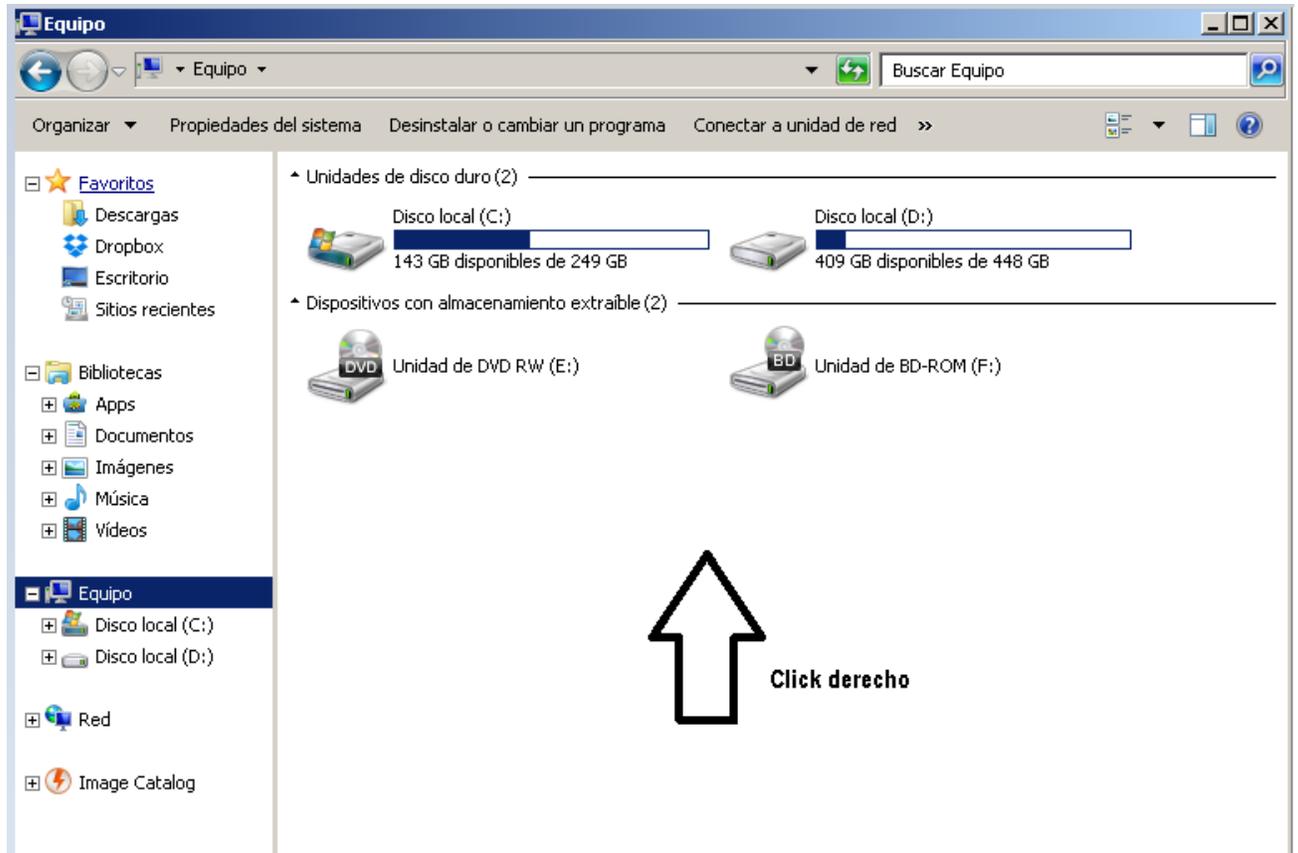


Figura 23. Pantalla de equipo de Windows

Se desplegó una pestaña, donde se ubica el administrador de dispositivos.

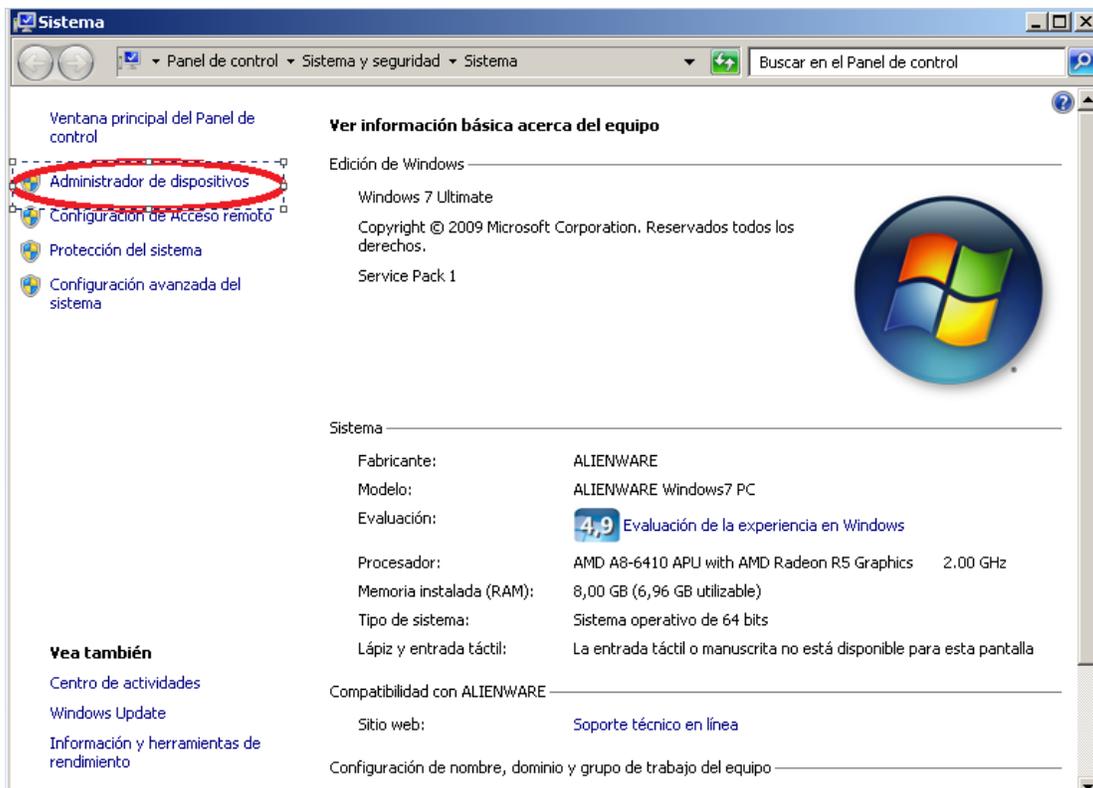


Figura 24. Pantalla de Herramientas de sistema.

En la pestaña desplegada en el que se encuentra un ítem llamado COM, este muestra que se ha asignado el puerto virtual de la tarjeta empleada en el proyecto.



Figura 25. Observar el COM de nuestra tarjeta arduino.

Una vez obtenido el puerto se comenzó nombrando y asignando una variable para poder llamarlo, seguidamente se realizó el ajuste los baudios, los cuales son el número de unidades por segundo que se pueden transmitir.

```
%inicia el puerto para la comunicacion con arduino
delete(instrfind({'Port'}, {'COMX'}));
puerto_serial=serial('COMX');
puerto_serial.BaudRate=19200;
warning('off', 'MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulRead');
```

Figura 26. Comunicación matlab y arduino



La figura 26 muestra cómo se usa la variable “delete(instrfind({'Port'},{'COMX'}));” empleada para asignar el COM de arduino en matlab. En la siguiente línea se observa la asignación del puerto a una variable y por último se ajustan los baud rate.

Una vez obtenido el resultado con el uso de los comandos de matlab, se trabajaron los datos tomados desde la tarjeta, reuniendo a la variable aplicada al puerto.

Programación para la tarjeta sim900

Para programar este tipo de tarjeta es necesario el conocimiento previo de los comandos AT, los cuales son requeridos para cualquier comunicación donde se interpongan comandos GSM.

Comandos AT

Sirve para verificar si el módulo SIM900 está funcionando adecuadamente para entrar en modo comando.

Al enviar AT el SIM deberá contestarnos con un OK.	
AT+CGMI	Veremos en nombre del fabricante



ATI	Ver la información del producto.
AT+IPR=?	Preguntar el Baud Rate en el que puede operar el SIM
AT+IPR?	Sirve para preguntar el Baud Rate actual
AT+IPR=XXXX	Configuremos a la frecuencia deseada
AT+COPS?	Nombre de la compañía telefónica
AT+CGSN	Visualizar el IMEI del chip utilizado
AT+CSCS?	Tipo de texto
AT+CSCS="XXX"	Configurar a tipo de texto
AT+CMGF?	Ver el formato de un mensaje, ya sea PDU(0) o SMS(1)"
AT+CMGS=04455XXXXX XXX	Enviar un SMS Se despliega el símbolo mayor que > Escribir mensaje y al finalizar presiona Ctrl+Z retornará OK si el SMS se envió correctamente.
AT+CMGL=ALL	Sirve para ver todos los mensajes que nos han llegado al SIM

ATD04455XXXXXXXXX;	Sirve para hacer una llamada a cualquier teléfono móvil
ATA	Sirve para contestar una llamada
ATH	Sirve para colgar una llamada

Tabla 4. Comandos AT

Trasmisión

El sistema de trasmisión se lleva a cabo usando las instrucciones vistas anteriormente, por medio del cual la tarjeta de arduino le envía por medio de comunicación serial la información requerida a la tarjeta sim900. Para el caso de este proyecto se utilizó el siguiente código para él envío del mensaje:

```
mySerial.print("AT+CMGF=1\r");  
delay(100);  
mySerial.println("AT+CMGS = \"3xxxxxxxxx\");  
delay(100);  
mySerial.println('x');mySerial.println(valor);mySerial.println('x');  
delay(100);  
mySerial.println((char)26);  
delay(100);  
mySerial.println();
```

Figura 27. Comunicación arduino y sim900

En el código anterior se observa efectuada la instrucción `mySerial.print ("AT+CMGF=1\r)` en la que se configuró el sistema del proyecto para el envío de mensajes. Seguidamente, se ordenó una breve pausa para evitar posibles errores que pudieran ocurrir en la transmisión. Luego en la siguiente línea se declaró el comando `"AT+CMGS= 3xx xxx xxxx"` con el cual se ordenó el número al que se quiere enviar el mensaje. Y finalmente el comando `mySerial.println('x')` utilizado para transmitir el mensaje (x) que se desea destinar.

Recepción y sistema de codificación

El uso de la tecnología GSM se caracteriza porque cualquier persona puede acceder a ella, lo que garantiza que el sistema no va a tener agentes externos, porque cuenta con un sistema de encriptación el cual asegura que la información no sea enviada por terceros.

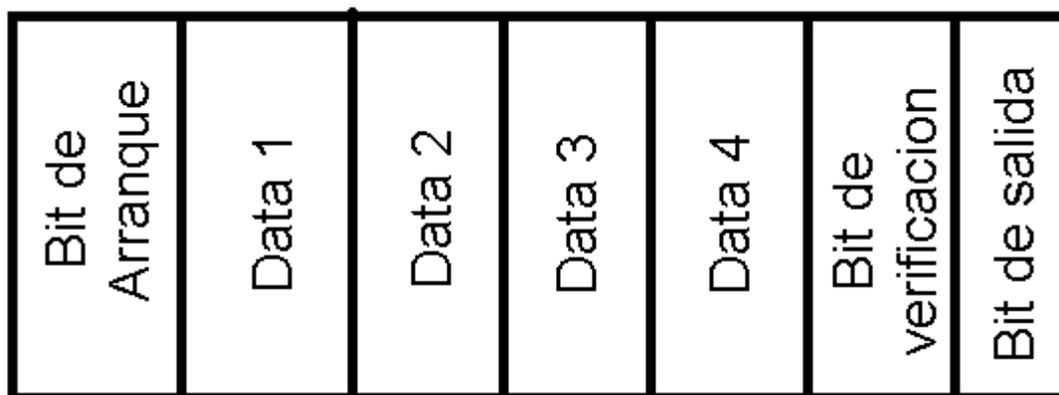


Figura 28. Sistema de codificación

Por tal razón, se representa en la figura 28 el sistema de codificación utilizado para evitar interferencias de manera externa al sistema. El proceso consiste en enviar 3 bits de control, uno inicial el cual validará el mensaje (data), y al final 2 dígitos adicionales que deberán especificar la conclusión de este. Del mismo modo, ordenará un mensaje de finalización quedando en espera para recibir un próximo.

Ajuste de los sensores a la tarjeta

Con respecto a este proyecto, su eje fue destacado en que los sensores tomaran una buena medición para ser transmitidos, aplicando el esquema de la figura seis (ver pág. ___) e implementando el programa Proteus versión 8 donde se utilizó la herramienta Ares para generar el diseño esquemático de los sensores MQ y hacerlo coincidir directamente con la placa Arduino uno como más adelante se observará en la imagen de la figura 30.

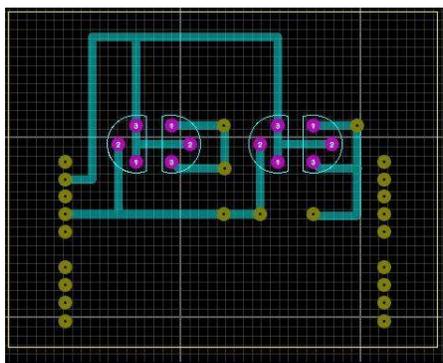


Figura 29. Esquemático de los sensores MQ

Una de las dificultades presentadas fue que el programa no tenía directamente las librerías, optando por otro tipo de elementos que pudieran servir de guía e ir ajustando al tamaño de los sensores debido a la separación de sus pines.

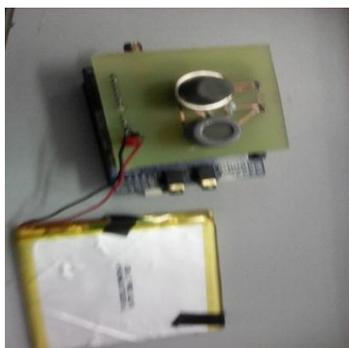


Figura 30. Placa de los sensores interconectada a la tarjeta Arduino Uno



Resultados y análisis





Elección de los sensores

A la hora de elección del sensor se usó un criterio de selección basado en los volátiles con mayor grado de contaminación y peligrosos para el ser humano. Dicho análisis fue basado en el estudio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM.

No obstante, se esperó elegir los sensores más aptos que pudieran suministrar confianza y mejor rendimiento permitiendo así tener una base sólida a la hora de la obtención de datos. Además, teniendo ya los sensores MQ-135 y MQ-9 los de mejor adaptación a las necesidades del proyecto, limitando el trabajo a ciertos gases; puesto que, en este caso se concluyó que debían ser los de tipo CO (monóxido de carbono y Material particulado).

Transmisión inalámbrica

Para el caso de la transmisión inalámbrica fue eficaz el uso de la tarjeta sim900 al ser compatible con la tarjeta Arduino formato uno, transmitiendo diversos comandos y particionado en tres etapas, transmisión de los datos, recepción de los datos y etapa completa.

Etapa de transmisión de los datos

En esta etapa se recurrió al sistema en el envío de datos a un móvil por medio del manejo de los comandos AT, emitidos desde el programa Arduino utilizando el monitor serie del Arduino encontrado en la parte superior derecha del programa como se aprecia en la figura 31.



Figura 31. Apertura de monitor serie de arduino

Una vez abierto el programa se despliega la siguiente ventana.



Figura 32. Monitor serie de arduino

Luego el cuadro negro muestra los Baud rate del sistema que deben ir acorde a los configurados previamente en la programación. El cuadro azul indica el tipo de entrada que se utilizará. Seguidamente el cuadro arrojará los datos enviados o recibidos que se deseen.

Etapa de recepción de los datos

En esta etapa el proyecto solo se dedicó a recibir los datos enviados desde un móvil, obteniendo los siguientes resultados:

Número del dato	Valor enviado	Valor recibido
1	123	123
2	200	200
3	311	311
4	460	460
5	570	570
6	611	611



7	756	756
8	823	823
9	999	999
10	142	142
11	521	521
12	577	577
13	972	972
14	481	481
15	131	131
16	541	541
17	678	678
18	981	981
19	911	911
20	1024	1024

Tabla 5. Valores recibidos desde el móvil

Etapa completa

Diseñado el circuito completo, se aprecia un LED Arduino que indica el envío del mensaje, permitiendo tener un pequeño delay que garantiza los datos. Estos se tomarán de manera periódica.

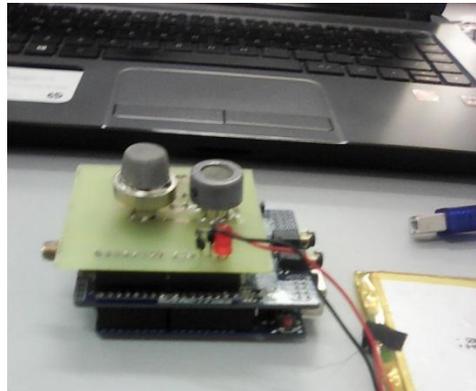


Figura 33. Circuito completo.

En la imagen se puede observar que el circuito en la parte superior se le ubicaron los sensores seguido de un módulo sim900 el cual fue el encargado de enviar los datos; mientras que en la base se encontraba la tarjeta de adquisición de datos.

Posteriormente, para la recolección de datos de manera previa, se optó por hacerlo de forma estática para tener una base de referencia de los tomados por el sensor obteniendo así como se puede apreciar en la gráfica de la figura 34.

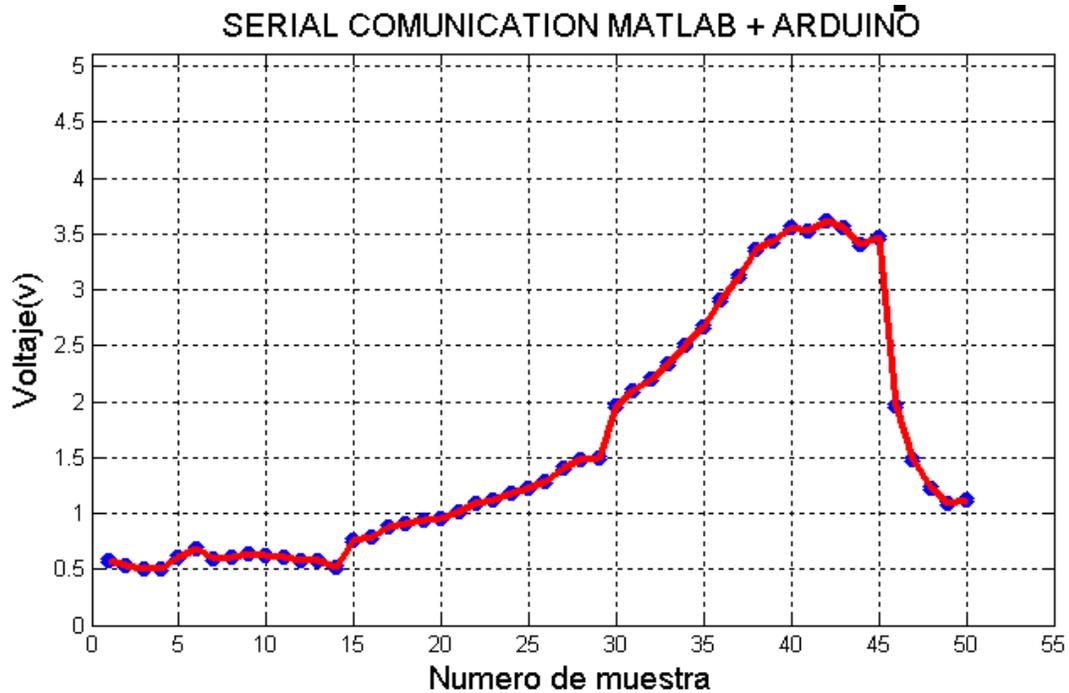


Figura 34. Toma de datos de prueba.

Número de muestra	Valor enviado	Valor recibido
1	120	0,5859375
2	108	0,52734375
3	104	0,5078125
4	102	0,498046875
5	124	0,60546875
6	140	0,68359375
7	123	0,600585938
8	125	0,610351563
9	131	0,639648438
10	129	0,629882813
11	124	0,60546875



12	120	0,5859375
13	118	0,576171875
14	107	0,522460938
15	155	0,756835938
16	163	0,795898438
17	180	0,87890625
18	187	0,913085938
19	192	0,9375
20	195	0,952148438
21	208	1,015625
22	222	1,083984375
23	230	1,123046875
24	243	1,186523438
25	250	1,220703125
26	263	1,284179688
27	289	1,411132813
28	305	1,489257813
29	308	1,50390625
30	402	1,962890625
31	430	2,099609375
32	450	2,197265625
33	480	2,34375
34	512	2,5
35	546	2,666015625
36	595	2,905273438
37	638	3,115234375
38	690	3,369140625
39	705	3,442382813
40	730	3,564453125
41	723	3,530273438
42	742	3,623046875
43	729	3,559570313



44	698	3,408203125
45	710	3,466796875
46	402	1,962890625
47	303	1,479492188
48	250	1,220703125
49	224	1,09375
50	230	1,123046875

Tabla 6. Valores tomados en prueba estática.

En la tabla se plasmó inicialmente los valores estándares del lugar en que fueron tomadas las muestras, en este caso la referencia se hizo en la ciudad de Pamplona, Norte de Santander. Donde se procedió a colocar una fuente de emisión de gas la cual se fue acercando cada vez más al sensor, observando la aproximación de los niveles de emisión de gas para obtener los valores contiguos. Después de un tiempo cuando los valores se estabilizaron en un punto y se retiró de manera brusca la fuente de emisión los datos bajaron de forma suave, dejando así unos valores residuales.

Pruebas de campo

Las pruebas se llevaron a cabo en la ciudad de Cúcuta donde se procedió a elevar el Dron en un lugar apartado pero, en que siempre hubiese circulación de vehículos para notar las variaciones que estos podrían aportar.

En la gráfica de la figura 35 y 36 se pueden observar los valores obtenidos de los experimentos realizados.

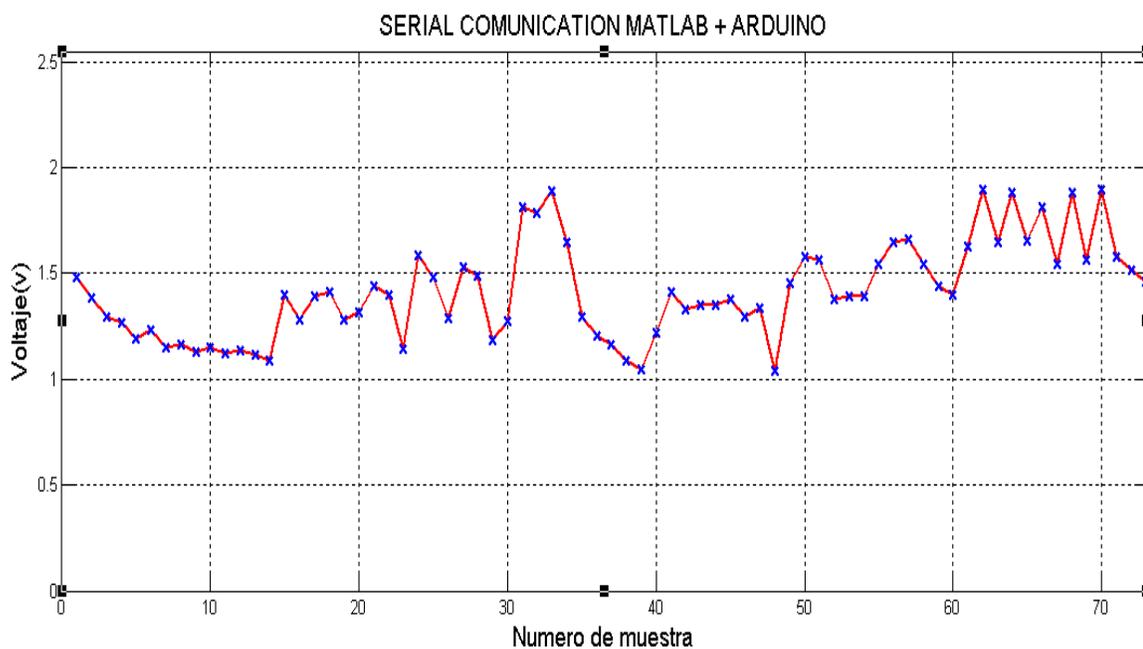


Figura 35. Toma de datos parte 1.

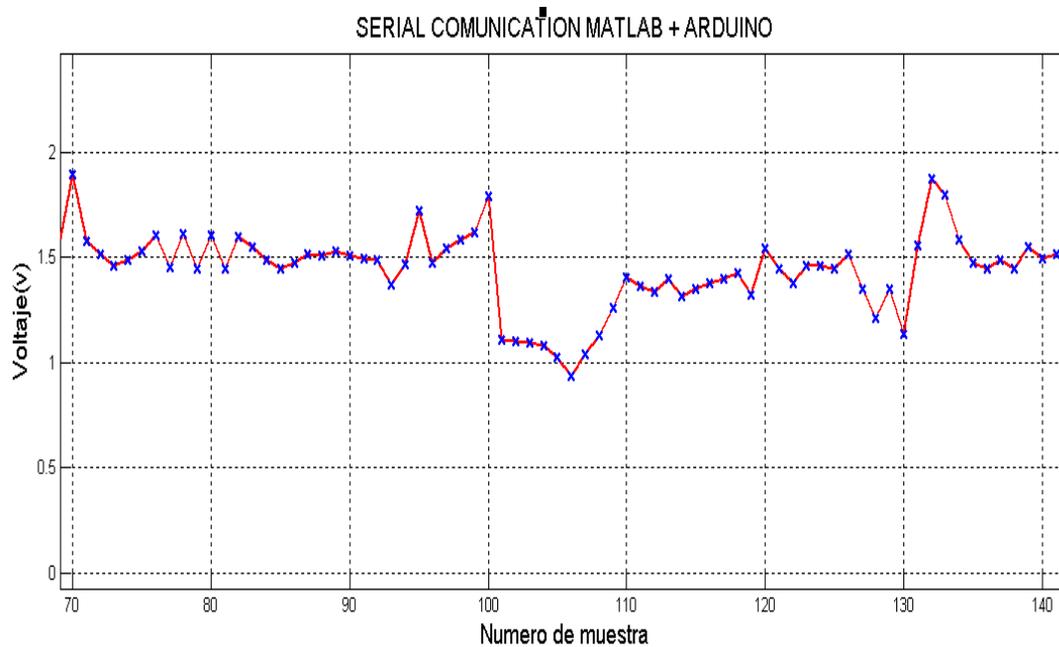


Figura 36. Toma de datos Parte 2

Se pueden ver como inicialmente se mantienen estables. Cuando ascienden estos valores comienzan a tener una variación en sus niveles en la medida en que iban pasando muchos vehículos y también debido a las corrientes de aire que se presentaban ese día.

Numero de muestra	Valor enviado	Valor recibido
1	304	1,484375
2	284	1,38671875
3	266	1,298828125
4	259	1,264648438
5	244	1,19140625
6	253	1,235351563
7	235	1,147460938



8	239	1,166992188
9	232	1,1328125
10	236	1,15234375
11	230	1,123046875
12	233	1,137695313
13	228	1,11328125
14	223	1,088867188
15	286	1,396484375
16	262	1,279296875
17	285	1,391601563
18	289	1,411132813
19	263	1,284179688
20	270	1,318359375
21	295	1,440429688
22	286	1,396484375
23	234	1,142578125
24	325	1,586914063
25	303	1,479492188
26	264	1,2890625
27	314	1,533203125
28	305	1,489257813
29	243	1,186523438
30	261	1,274414063
31	372	1,81640625
32	366	1,787109375
33	387	1,889648438
34	338	1,650390625
35	266	1,298828125
36	247	1,206054688
37	239	1,166992188
38	223	1,088867188
39	215	1,049804688





40	250	1,220703125
41	290	1,416015625
42	273	1,333007813
43	277	1,352539063
44	276	1,34765625
45	282	1,376953125
46	266	1,298828125
47	274	1,337890625
48	213	1,040039063
49	298	1,455078125
50	323	1,577148438
51	320	1,5625
52	282	1,376953125
53	285	1,391601563
54	285	1,391601563
55	317	1,547851563
56	338	1,650390625
57	341	1,665039063
58	317	1,547851563
59	295	1,440429688
60	287	1,401367188
61	333	1,625976563
62	389	1,899414063
63	338	1,650390625
64	386	1,884765625
65	339	1,655273438
66	371	1,811523438
67	316	1,54296875
68	386	1,884765625
69	320	1,5625
70	388	1,89453125
71	323	1,577148438





72	310	1,513671875
73	299	1,459960938
74	305	1,489257813
75	313	1,528320313
76	329	1,606445313
77	298	1,455078125
78	331	1,616210938
79	296	1,4453125
80	329	1,606445313
81	296	1,4453125
82	328	1,6015625
83	318	1,552734375
84	305	1,489257813
85	297	1,450195313
86	302	1,474609375
87	310	1,513671875
88	309	1,508789063
89	314	1,533203125
90	309	1,508789063
91	307	1,499023438
92	305	1,489257813
93	281	1,372070313
94	301	1,469726563
95	353	1,723632813
96	302	1,474609375
97	317	1,547851563
98	325	1,586914063
99	332	1,62109375
100	367	1,791992188
101	227	1,108398438
102	226	1,103515625
103	225	1,098632813





104	221	1,079101563
105	210	1,025390625
106	192	0,9375
107	213	1,040039063
108	232	1,1328125
109	259	1,264648438
110	288	1,40625
111	280	1,3671875
112	274	1,337890625
113	287	1,401367188
114	270	1,318359375
115	276	1,34765625
116	283	1,381835938
117	286	1,396484375
118	292	1,42578125
119	271	1,323242188
120	317	1,547851563
121	296	1,4453125
122	283	1,381835938
123	300	1,46484375
124	299	1,459960938
125	297	1,450195313
126	311	1,518554688
127	277	1,352539063
128	249	1,215820313
129	276	1,34765625
130	233	1,137695313
131	319	1,557617188
132	384	1,875
133	369	1,801757813
134	325	1,586914063
135	302	1,474609375



136	297	1,450195313
137	305	1,489257813
138	296	1,4453125
139	318	1,552734375
140	307	1,499023438
141	310	1,513671875

Tabla 7. Valores Prueba Real

En la parte derecha de la tabla 7. Se observan los valores de carboxihemoglobina los cuales se deben llevar a ppm por medio de la siguiente tabla se hace la conversión.

carboxihemoglobina	ppm
5	35
10	50
20	100
30	200
40	300
50	500
60	800
70	1200
80	1900

Tabla 8. Equivalencia grados de carboxihemoglobina a ppm

Fase terminada

En las figuras 37, 38 y 39 se pueden apreciar desde diversa perspectiva el Drone manipulado, un Phantom 3 Advanced en conjunto al sistema seleccionado en este proyecto.



Figura 37. Vista frontal del Drone y trasera del sistema.



Figura 38. Vista lateral del Drone y sistema



Figura 39. Vista Trasera del Dron y frontal del sistema.



Conclusión

Se concluyó que los sistemas de calidad de aire son diversos dependiendo de la ciudad en que se utilicen y su entorno. Puesto que existen varios factores los cuales deterioran la calidad del aire como las empresas situadas tanto en las zonas urbanas como rurales, la cantidad de vehículos que transiten, entre otros. En el caso de este proyecto se tuvo en cuenta estos aspectos al momento de elegir los sensores que se implementarían para la obtención de los resultados.

Asimismo, cuando se escogieron los sensores fue de suma importancia tener en cuenta la velocidad de reacción, aunque anteriormente no fue mencionado debido a que esta era lo suficientemente veloz para la transmisión, solo que en ocasiones pueden presentarse fallas y por esto se deben tener presentes.

En cambio las tarjetas de adquisición Arduino son un método ideal para el desarrollo de ideas innovadoras porque no requieren ningún tipo de derechos de autor, ya que es un software de uso libre y por ello cualquier persona puede basarse en estos para el desarrollo de sus proyectos.

Además de poseer un lenguaje de programación dinámico con el usuario y encontrando información variada en la web; lo que permite una pronta aclaración de las dudas que se puedan mantener presentes en medio de la elaboración de los mismos y



tener el soporte de muchas herramientas como para el caso de esta investigación con el módulo sim900 el cual viene acondicionado con numerosos controladores necesarios, permitiendo así la fácil conexión entre estos.

Para finalizar, una de las grandes desventajas del sistema sin duda fue la baja velocidad de transmisión dada por el módulo GSM debido a la dependencia de una red externa donde se usaba el ancho de banda para los usuarios que la empleaban en el momento. A pesar de esto, se fortaleció el sistema haciendo un envío constante de los datos ya que no se quería despreciar la fortaleza de la tecnología GSM de manejar grandes trayectos, inclusive, distancias entre países.

Lo cual hace que tenga un gran peso a la hora de su proyección aunque muchas veces se han ejecutado proyectos parecidos, son pocos los trabajados con tecnología GSM y sobre plataforma móvil en el aire. Poniendo a este proyecto como un inicio de lo que puede ser un estudio a futuro para diversidad de proyectos más adelante.



Bibliografía

- [1] M. 1998 Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant: Artech House, "GSM and Personal Communications Handbook."
- [2] <http://www.lacuevagsm.com/cobertura-movil-2/difere>, "Diferencia 2g, 3g y 4g," 01. OCT, 2014. .
- [3] L. J. B. Franco, "Frecuencia de operación 3G operadores móviles en Colombia," *lunes, 12 de abril de 2010*. [Online]. Available:
<http://luisjoseb.blogspot.com.co/2010/04/frecuencia-de-operacion-operadores.html>. [Accessed: 12-Apr-2010].
- [4] L. J. B. Franco, "Bandas o frecuencias de operación 4G de los operadores móviles en Colombia," *miércoles, 11 de diciembre de 2013*. [Online]. Available:
<http://luisjoseb.blogspot.com.co/2013/12/bandas-o-frecuencias-de-operacion-4g-de.html>. [Accessed: 11-Dec-2013].
- [5] I. Moreno, R. Caballero, R. Galán, F. Matía, and A. Jiménez, "La Nariz Electrónica : Estado del Arte," *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 6, no. 3, pp. 76–91, 2009.
- [6] C. M. D. Acevedo, "Diseño y optimización de los subsistemas de un sistema de olfato electrónico para aplicaciones agroalimentarias e industriales," pp. 2–26.
- [7] "WHEELER, Dan. The advantages & disadvantages of GSM [Documento en línea]. En:
http://www.ehow.com/list_6322410_advantages-disadvantages-gsm.html [Consulta 2010-09-28]."
- [8] R. Tem, "MQ-135 GAS SENSOR," vol. 1, pp. 3–4.
- [9] U. Escuela, C. Agr, and M. A. Control, "Universidad nacional abierta y a distancia," 2013.
- [10] "Ciudad Universitaria 2013."



- [11] Arduino, “<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno#>.
- [12] meteorología y estudios ambientales Instituto de Hidrología, *Informe del estado de la calidad del aire en colombia*.
- [13] T. Data, “MQ-9 Semiconductor Sensor for CO / Combustible Gas,” pp. 2–4.
- [14] G. Shield, “GSM / GPRS Shield Datasheet,” 2014.
- [15] P. Aplicaciones, “Sensor Inalámbrico de Gas LP.”
- [16] J. P. Bl, “Introducción a los sistemas de comunicación inalámbricos.”
- [17] M. Y. Conexión and C. Ftdi, “Comandos AT Manual y conexión con FTDI.”
- [18] T. Data, “MQ131 Semiconductor Sensor for Ozone,” pp. 2–4.
- [19] T. Data, “MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide,” pp. 2–4.
- [20] M. Del, M. Ambiente, E. L. Presidente, D. E. L. A. Republica, R. D. E. Proteccion, Y. C. D. E. La, C. Del, I. Capitulo, and O. Y. Definiciones, “Decreto 948 de 1995,” vol. 1995, no. 41, 1995.
- [21] H. Gh, “(O ROIDWR \ HO JXVWR Fisiología y funcionamiento El olfato y el gusto electrónico.”
- [22] L. A. Hardware, “Hardware Design SIM900_HD_V1.01,” pp. 231–253, 2011.
- [23] S. D. E. Monitoreo and R. Empleando, “Instituto politécnico nacional,” 2013.
- [24] M. 1995 Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant: Artech House, “An Introduction to GSM.”
- [25] D. E. U. N. A. Soluci, T. B. E. N. Obd-ii, O. Diagnostic, Q. U. E. P. Obtener, P. L. A. Informaci, D. E. L. O. S. S. Del, and M. D. E. Un, “Escuela politécnica nacional,” 2015.
- [26] E. Tecnicas, “2.- plataforma arduino (hardware).”
- [27] M. Teresa, D. J. Valdés, and R. G. Martínez, “LA TESIS DE



- GRADO Comisionados :,” 2010.
- [28] “FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
MONITORIZACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES A
TRAVÉS Resumen :,” 2014.
- [29] “HARTMAN, Dennis. The advantages & disadvantages of
GSM [Documento en línea]. En:
http://www.ehow.com/list_6297592_advantages-disadvantages-gsm.html[Consulta 2010-09-28].”
- [30] G. M. Soler, “Sentido del olfato,” pp. 1–27, 2003.
- [31] J. E. O. Sandoval, “IMPLEMENTACION DE UN MODELO
NEURONAL EN UN DISPOSITIVO HARDWARE (FPGA)
PARA LA CLASIFICACION DE COMPUESTOS QUIMICOS
EN UN SISTEMA MULTISENSORIAL (OLFATO
ELECTRONICO).” p. 113.
- [32] “P. N. Bartlett and J.W. Gardner, Electronic Noses: Principles
and Applications, Oxford Univ Press, Oxford (1999).”