



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
ROBÓTICO PARA EL ANÁLISIS DE ACETONA EN UN
AMBIENTE CONTROLADO”**

AUTORES:

**GAIBOR JARA, DENNIS ALEXANDER
MEDIAVILLA FLORES, EDISON JAVIER**

DIRECTORA: GUAMAN NOVILLO, ANA VERÓNICA

SANGOLQUÍ

2016



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

i

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO PARA EL ANÁLISIS DE ACETONA EN UN AMBIENTE CONTROLADO” realizado por los señores Gaibor Jara Dennis Alexander y Mediavilla Flores Edison Javier, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores Gaibor Jara Dennis Alexander y Mediavilla Flores Edison Javier para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 1 de abril de 2016

ANA VERÓNICA GUAMÁN NOVILLO

DIRECTORA



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Gaibor Jara Dennis Alexander y Mediavilla Flores Edison Javier, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO PARA EL ANÁLISIS DE ACETONA EN UN AMBIENTE CONTROLADO” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 1 de abril de 2016

Firma manuscrita en azul de Dennis Alexander Gaibor Jara.

Dennis Alexander Gaibor Jara

C.C. 0604351361

Firma manuscrita en azul de Edison Javier Mediavilla Flores.

Edison Javier Mediavilla Flores

C.C. 1718562844



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Gaibor Jara Dennis Alexander, con cédula de identidad N° 0604351361 y Mediavilla Flores Edison Javier, con cédula de identidad N° 1718562844, declaramos que este trabajo de titulación “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO PARA EL ANÁLISIS DE ACETONA EN UN AMBIENTE CONTROLADO” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 1 de abril de 2016

Dennis Alexander Gaibor Jara

C.C. 0604351361

Edison Javier Mediavilla Flores

C.C. 1718562844

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico principalmente a Dios por haber sido una luz durante el transcurso de toda la carrera para no desfallecer nunca.

A mis padres Lourdes y Carlos por ser los mejores padres al brindarme su apoyo incondicional, su amor y su dedicación para poder seguir adelante, por ser un ejemplo de superación. Por enseñarme que las decepciones forman parte de la vida pero siempre se debe seguir adelante.

A mis hermanas Johana y María, por su cariño y apoyo para poder seguir adelante en cada meta que me he propuesto.

A mis sobrinas Daniela y Camila que con su sonrisa alegran mí día a día, espero ser un ejemplo para ellas.

Dennis

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por permitirme estar en este momento y darme las fuerzas necesarias para no desmayar.

A mis padres, por ser mi apoyo incondicional y enseñarme siempre el valor del sacrificio y la integridad a través de su ejemplo e infinito amor.

A mis hermanos, por demostrarme todo su cariño y apoyo para poder llegar hasta este momento, que este paso les sirva como ejemplo para que den el suyo.

A mi familia y a mi tío que se encuentra en el cielo, nunca te olvidaremos y siempre tendrás un espacio en nuestros corazones.

Javier

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por toda la vida tan hermosa que nos da, a nuestros padres que fueron el pilar fundamental para hacer posible este proyecto, a nuestros profesores por impartir sus conocimientos con nosotros y a todas las personas que nos han apoyado y han hecho este proyecto más significativo de lo que ya es para nosotros

Dennis y Javier

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
INDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Descripción general del proyecto	5
CAPITULO II	9
ESTADO DEL ARTE.....	9
2.1. Robótica móvil	9
2.2. Sensores químicos	11
2.2.1. Clasificación de Sensores Químicos.....	15
2.2.2. Procesado de señal de la matriz de sensado químico: Filtro de Media Móvil.....	16
2.3. Algoritmos de localización de olores	18
2.4. Tecnologías de comunicación inalámbrica para control remoto del robot..	19
2.4.1. Clasificación de las comunicaciones inalámbricas	20
CAPITULO III	22
ACONDICIONAMIENTO Y COMUNICACIÓN CON EL ROBOT.....	22
3.1. Elección de la estructura mecánica del robot	22

3.2.	Etapa de potencia del robot Dagu Wild Thumper	24
3.2.1.	Diseño del circuito de potencia y posicionamiento	26
3.3.	Comunicación entre el robot y el dispositivo móvil.....	29
3.4.	Desarrollo de la aplicación móvil para Android	35
CAPITULO IV		47
MATRIZ DE SENSORES QUÍMICOS		47
4.1.	Implementación de una matriz de sensores químicos	47
4.2.	Montaje de la matriz de sensores químicos en el robot.....	63
CAPÍTULO V		68
DESARROLLO DEL ALGORITMO DE LOCALIZACIÓN		68
5.1.	Generación del mapa de dispersión del químico en el ambiente controlado.....	68
5.1.1.	Mapa de dispersión con acetona	70
5.1.2.	Mapa de dispersión con etanol (alcohol)	72
5.2.	Simulación de trayectoria del algoritmo de localización.	73
5.2.1.	Simulación del algoritmo de localización con acetona.....	76
5.2.2.	Simulación del algoritmo de localización con etanol	77
CAPITULO VI.....		80
RESULTADOS DEL ALGORITMO DE LOCALIZACIÓN EN TIEMPO REAL .		80
6.1.	Pruebas de movilidad del robot	80
6.2.	Pruebas del algoritmo de localización de olores en un ambiente controlado	82
6.2.1.	Resultados del algoritmo de localización con acetona	83
6.2.2.	Resultados del algoritmo de localización con etanol.....	88
CAPÍTULO VII		98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		98
7.1.	Conclusiones	98
7.2.	Recomendaciones	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		100
ANEXOS		106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de sensores químicos de acuerdo a su principio de operación.	15
Tabla 2. Clasificación de redes inalámbricas	20
Tabla 3. Características robot Dagu Wild Thumper.	23
Tabla 4. Funcionamiento puente H con relés	27
Tabla 5. Comandos AT utilizados para la configuración inicial.....	30
Tabla 6. Protocolo de comunicación	32
Tabla 7. Permisos de WI-FI.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Países con más decomisos de cocaína.	3
Figura 2. Can adiestrado detectando droga.	4
Figura 3. Prototipo en un ambiente controlado.	7
Figura 4. Robot Dagu Wild Thumper.	8
Figura 5. Posibles trayectorias que puede seguir un robot móvil.	10
Figura 6. Robot Curiosity.	11
Figura 7. Estructura Interna de un sensor químico.	13
Figura 8. La nariz electrónica y el sistema del olfato humano.	13
Figura 9. Filtro de media móvil.	17
Figura 10. Esquema del movimiento de un robot obedeciendo al algoritmo de espiral.	18
Figura 11. Conversor DC – DC LM2596S.	25
Figura 12. Conexión de la etapa de potencia.	25
Figura 13. Diseño de puente H con relés.	26
Figura 14. Control de velocidad.	27
Figura 15. Cálculo del ancho de pista para la etapa de potencia.	28
Figura 16. Cálculo del ancho de pista para la etapa de control.	29
Figura 17. Módulo Wi-Fi ESP-8266-05.	29
Figura 18. Forma de comunicación inalámbrica.	31
Figura 19. Comunicación Inalámbrica.	32
Figura 20. Diagrama de Flujo de la etapa de potencia del robot.	34
Figura 21. Diagrama de Flujo Aplicación para Android.	36
Figura 22. Diagrama de Flujo Conexión, Desconexión y Modo de Operación.	37
Figura 23. Diagrama de Flujo Sensado en el modo Manual y Método OnTouch.	38
Figura 24. Diagrama de Flujo Modo automático, Envío y Respuesta.	40
Figura 25. Subrutina Joystick.	42
Figura 26. Jerarquía interfaz gráfica.	43
Figura 27. (a) Conexión a la red del módulo ESP8266, (b) Envío de datos al módulo ESP8266, (c) Desconexión de la red del módulo ESP8266.	46
Figura 28. Datos recibidos por el módulo ESP8266.	46
Figura 29. Sensibilidad del sensor TGS 2600.	48
Figura 30. Circuito de conexión TGS2600.	49
Figura 31. Módulo TGS2600.	49
Figura 32. Sensibilidad del sensor TGS 2602.	50
Figura 33. Circuito de conexión TGS 2602.	51
Figura 34. Módulo TGS 2602.	51
Figura 35. Diagrama de Flujo de la Adquisición de Datos.	52
Figura 36. Prueba de cantidad de químico.	53
Figura 37. Respuesta de los sensores con 0 ml de químico.	54
Figura 38. Respuesta de los sensores con 5 ml de químico.	55
Figura 39. Respuesta de los sensores con 10 ml de químico.	55
Figura 40. (a) Respuesta del sensor TGS2600, (b) Respuesta del sensor TGS2602.	57

Figura 41. (a) Línea de base eliminada sensor TGS2600. (b) Línea de base eliminada sensor TGS2602.	58
Figura 42. (a) Señal del sensor TGS2600 filtrado, (b) Señal del sensor TGS2602 filtrada.	60
Figura 43. (a) Valor medio y desviación estándar del sensor TGS2600, (b) Valor medio y desviación estándar del sensor TGS2602.....	63
Figura 44. Esquemático de la Matriz de Sensores.	64
Figura 45. Esquema de comunicación.	65
Figura 46. Diagrama de Flujo de la matriz de sensores.	66
Figura 47. Matriz de sensores integrada al robot.	67
Figura 48. Modo de adquisición de datos.	69
Figura 49. (a) Resolución de cuadrantes matriz 3x3. (b) Resolución de cuadrantes matriz 12x12.....	70
Figura 50. (a) Dispersión de acetona sin ventilador, Sensor 2600. (b) Dispersión de acetona sin ventilador, Sensor 2602.	70
Figura 51. (a)Dispersión de acetona con ventilador, Sensor 2600. (b) Dispersión del químico con ventilador, Sensor 2602.....	71
Figura 52. (a) Dispersión de etanol sin ventilador, Sensor 2600. (b) Dispersión de etanol sin ventilador, Sensor 2602.	72
Figura 53. (a)Dispersión de etanol con ventilador, Sensor 2600. (b) Dispersión de etanol con ventilador, Sensor 2602.	73
Figura 54. Simulación del Cálculo de Trayectoria.....	74
Figura 55. Diagrama de Flujo del Cálculo de Trayectoria.....	75
Figura 56. (a) Movimiento sin ventilador, Sensor 2600. (b) Movimiento sin ventilador, Sensor 2602.....	76
Figura 57. (a) Movimiento con ventilador, Sensor 2600. (b) Movimiento con ventilador, Sensor 2602.....	77
Figura 58. (a) Movimiento sin ventilador, Sensor 2600. (b) Movimiento sin ventilador, Sensor 2602.....	78
Figura 59. (a) Movimiento con ventilador, Sensor 2600. (b) Movimiento con ventilador, Sensor 2602.....	79
Figura 60. Movilidad del robot en un ambiente abierto.	81
Figura 61. Robot sorteando un obstáculo.....	81
Figura 62. Robot subiendo obstáculos.	82
Figura 63. Ambiente controlado, donde se observa la distribución de cuadrantes, fuente de olor, ventilador y división interna del cuarto de pruebas.	83
Figura 64. Fuente de olor en el cuadrante VIII. Posición inicial del robot cuadrante I (a) Fuente no localizada. (b) Fuente no localizada.....	84
Figura 65. Fuente de olor en el cuadrante VIII. Posición inicial del robot cuadrante II (a) Fuente no localizada. (b) Fuente no localizada.	85
Figura 66. Fuente de olor en el cuadrante VIII. Posición inicial del robot cuadrante III (a) Fuente no localizada. (b) Fuente no localizada.	86
Figura 67. Historial de pruebas realizadas con acetona	87
Figura 68. Comportamiento de movimiento del algoritmo de localización con etanol.	88

Figura 69. Fuente de olor en el cuadrante VII. Posición inicial del robot (a) Cuadrante III y fuente no localizada. (b) Cuadrante I y fuente no localizada. (c) Cuadrante II y fuente localizada. (d) Cuadrante VI y fuente localizada.....	91
Figura 70. Fuente de olor en el cuadrante VIII. Posición inicial del robot. (a) Cuadrante III y fuente localizada. (b) Cuadrante I y fuente localizada. (c) Cuadrante III y fuente localizada. (d) Cuadrante II y fuente localizada.....	93
Figura 71. Fuente de olor en el cuadrante IX. Posición inicial del robot (a) Cuadrante IV y fuente no localizada. (b) Cuadrante I y fuente localizada. (c) Cuadrante II y fuente localizada. (d) Cuadrante III y fuente localizada.....	95
Figura 72. Historial de pruebas realizadas con etanol.....	96
Figura 73. Comportamiento de movimiento del algoritmo de localización con etanol.....	97

RESUMEN

La necesidad de encontrar nuevas soluciones al tráfico de sustancias Estupefacientes y psicotrópicas dentro del país, han llevado al desarrollo de soluciones tecnológicas que sean efectivas al momento de detectar sustancias ilícitas. Una solución a este problema es el uso de Canes adiestrados. El inconveniente con el manejo de los canes es que pueden ser utilizados por un periodo limitado de tiempo y se necesita de cuidados especiales para mantener su capacidad de detección. Una alternativa al uso de canes adiestrados es el uso de prototipos robóticos con sensores químicos integrados que detectan la presencia de sustancias ilícitas en el ambiente. En el desarrollo del presente proyecto de investigación se utiliza el robot DAGU WILD THUMPER como medio robótico y los sensores químicos de la serie Fígaro 2600 y 2602 como medidores de sustancias químicas, de tal manera que al integrarlos a la estructura del robot permitan identificar la presencia o no de una sustancia química en el ambiente. Para el acondicionamiento del robot, se separó la etapa de potencia con la etapa de control, y se hizo uso de la tecnología Surface Mount Device (SMD) para la elaboración del circuito impreso (PCB), con el fin de economizar espacio físico dentro del mismo. En la etapa de detección, se realizó un Algoritmo de Localización que se basa en la cantidad de químico presente en el ambiente, realizando el movimiento de la matriz de sensores químicos por medio de un servomotor en tres posiciones: 45°, 90° y 135°, dirigiendo el robot hacia la dirección con mayor concentración, independientemente de la ubicación inicial del robot y la ubicación de la fuente de olor.

Palabras clave:

SUBSTANCIAS ESTUPEFACIENTES

CANES ADIESTRADOS

DAGU WILD THUMPER

SENSORES QUÍMICOS

ALGORITMO DE LOCALIZACIÓN

ABSTRACT

The necessity to find new solutions to Narcotic traffic within the country, have led to the development of technological solutions to an effective detecting of illicit substances. A solution to this problem is the use of trained Dogs, the problem with the handling of dogs is that they can be used for a limited period of time and needs special care to maintain their detection capability. An alternative to the use of trained dogs is the use of robots with chemical sensors embedded that detect the presence of illegal substances in the environment.

For the development of this research project, the robot DAGU WILD THUMPER was used as the robotic system, and the chemical sensors of the series Figaro 2600 and 2602 as meter of chemicals substances, so once integrated to the structure of the robot, it could identify the presence or absence of chemical substances in the ambient.

For the conditioning of the robot, the power and control stage are separated and Surface Mount Device (SMD) technology is used to the development of the Printed Circuit Board (PCB), in order to economize physical space. In the sensing stage, a Location Algorithm based on the amount of chemical in the environment was developed; the movement of the array of chemical sensors is performed using a servo motor in three positions: 45 °, 90 ° and 135 °, moving the robot to the direction with the highest concentration, regardless of the initial location of the robot and the location of the odor source.

Keywords:

**NARCOTIC TRAFFIC
TRAINED DOGS
DAGU WILD THUMPER
CHEMICAL SENSORS
LOCATION ALGORITHM**

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe la motivación, importancia y el aporte del presente proyecto de investigación, y su relación con las líneas de investigación de la seguridad y defensa del país.

1.1. Motivación

La venta y el consumo de drogas es una realidad mundial, y tiene características específicas en las distintas regiones y países, relacionándose directamente con otras problemáticas sociales que inciden en el desarrollo de la población (Consep, 2013). En el contexto de la globalización ningún país puede mantenerse aislado de las dinámicas internacionales. Es así como el Ecuador se encuentra dentro de las redes transnacionales tejidas por el crimen organizado internacional (Andrade & Negrete, 2012).

Según Andrade y Negrete (2012), una de las empresas ilícitas, y la más importante para el país, es el narcotráfico, de este modo existen países dedicados a la producción de drogas, países consumidores, países almacenadores, de tránsito y procesamiento, como es el caso de Ecuador. El tema debido a su complejidad, requiere un abordaje global que coloque al ser humano como el principio fundamental de las intervenciones y que considere tanto la reducción de la demanda (prevención del consumo, tratamiento y reintegración social); como la reducción de la oferta (cultivo, producción y tráfico) (Consep, 2013).

Dentro del Ecuador, la entidad encargada de realizar operativos para el decomiso y captura de delincuentes relacionados con el narcotráfico es el grupo de Antinarcóticos de Policía Nacional con el apoyo de personal de las Fuerzas Armadas (International Crisis Group, 2008). Una herramienta utilizada para combatir el narcotráfico es el uso de canes adiestrados, que son capaces de diferenciar entre varios tipos de explosivos y de sustancias ilícitas (Furton & Myers, 2001).

El objetivo del presente proyecto de investigación, es poder generar un prototipo para la detección de elementos precursores químicos para narcóticos, que en particular sirva para la localización de acetona y el trazo de la trayectoria hacia el origen del olor. Este proyecto puede contribuir positivamente en las misiones que actualmente tiene el país para controlar el ingreso de sustancias estupefacientes. Siendo además el primer estudio que se realiza en la universidad en el tema de sensado químico por medios electrónicos, con el objetivo de iniciar un nuevo campo de investigación que relaciona la seguridad y defensa civil y militar con los conocimientos en la carrera de Electrónica, Automatización y Control.

1.2. Antecedentes

Ecuador es un punto clave en el tráfico de sustancias estupefacientes y psicotrópicas debido a la facilidad con la que estas ingresan al país (Andrade & Negrete, 2012). Siendo uno de los factores más importantes la cercanía con los mayores productores de estas sustancias estupefacientes que son Colombia, Bolivia y Perú (Mundo, 2014). Los precursores químicos (acetona, éter, ácido sulfúrico) son las sustancias base para la elaboración de droga. Una vez que la droga es procesada, ésta ingresa al Ecuador para ser enviada ilegalmente hacia los grandes consumidores de droga como son Estados Unidos y Europa; ratificando que Ecuador es un país estratégico en el entorno del narcotráfico. De hecho, la Policía Nacional ha realizado diversas operaciones donde se han descubierto plantaciones y laboratorios para procesar droga (International Crisis Group, 2008). En lo que va del año, han decomisado 3 toneladas y 279 personas fueron detenidas por sus vínculos con organizaciones de tráfico internacional (International Crisis Group, 2008). Por estas razones, el gobierno ha implementado políticas y leyes para impedir y mitigar el narcotráfico en el Ecuador; además se debe tomar en cuenta que el país ocupa el tercer puesto de los países con más decomisos de cocaína según estadísticas de la United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) (Mizrahi, 2014), tal como se muestra en la Figura 1.

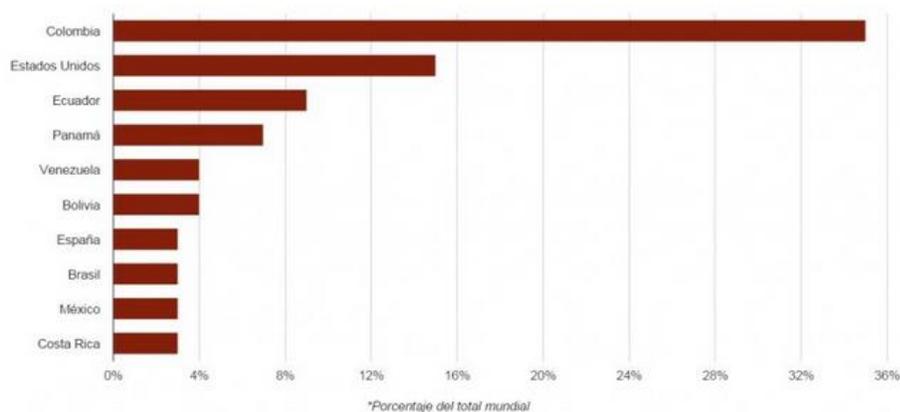


Figura 1. Países con más decomisos de cocaína.
Fuente: (Mizrahi, 2014)

En Ecuador los encargados de realizar operativos para el decomiso y captura de delincuentes relacionados con el narcotráfico son el grupo de Antinarcóticos de Policía Nacional con el apoyo de personal de las Fuerzas Armadas, cuyas misiones son realizadas por personal especializado para la detección de sustancias bases para la elaboración de sustancias ilícitas. Existen diferentes escenarios donde la detección de sustancias peligrosas y/o ilícitas resultan preponderantes, entre ellos son los aeropuertos, estaciones de tren, embajadas, consulados, instituciones gubernamentales, entre otros (Pomareda Sesé & Marco Colás, 2013). En la mayor parte de estos casos, el uso de animales adiestrados es muy utilizado como herramienta en la detección de sustancias ilícitas, como se muestra en la Figura 2. Las ventajas que brindan los canes son: detección rápida, pueden detectar entre 9 y 14 tipos de explosivos distintos y distinguen una fuente de olor con baja concentración. Por otra parte, las desventajas son: el tiempo que se los puede utilizar es de una hora con intervalos de descanso para el can, y necesitan de cuidados especiales y entrenamiento especial (Furton & Myers, 2001).

Por estas limitaciones que presentan los canes adiestrados, se han realizado avances importantes relacionados con la detección de químicos que buscan mejorar la rapidez con la que se realiza la detección (Di Natale, Marco, Davide, & D'Amico, 1995), para de esta manera permitir un sistema de detección más económico.



**Figura 2. Can adiestrado detectando droga.
Fuente: (Mendoza, 2015).**

Existen diferentes tecnologías de sensado químico, entre ellas: Espectrometría de Masas (MS) en la detección de explosivos analizando superficies sólidas (Na et al.2007); Espectrometría Raman en el análisis de drogas (Hargreaves et al. 2008) y la detección de explosivos y precursores en la ropa (Ali, Edwards y Scowen 2009); Espectrometría de Movilidad Iónica (IMS) (Eiceman y Karpas 2005) para la detección de drogas (Lai, Corbin y Almirall 2008) en el cabello humano (Keller et al., 1998) o en las manos de los sujetos (Lawrence 1987); Aplicación de narices electrónicas en productos de uso diario, como leche y queso (Ampuero & Bosset, 2003).

La matriz de sensores químicos también es conocida como nariz electrónica. Una nariz electrónica es un sistema de olfato electrónico, que permite reconocer e identificar niveles sumamente bajos de químicos presentes en el ambiente (Quicazán, Díaz, & Zuluaga, 2011). El embeber las narices electrónicas en mecanismos móviles pretende asemejar el funcionamiento del can adiestrado; es decir, captar el aroma y buscar la fuente a través de una trayectoria no determinada. Entre las ventajas de utilizar un dispositivo electrónico para la búsqueda de fuentes químicas se puede citar la reducción de costos de mantenimiento y la larga vida útil de los mismos.

Los robots equipados con una nariz electrónica, tienen muchas aplicaciones entre las cuales destacan la detección de situaciones peligrosas en ambientes industriales como: detección de escapes de gas, drogas, explosivos, minas de tierra, pueden servir de ayuda en situaciones de riesgo para las personas (I. Moreno, Caballero, Galán, Matía, & Jiménez, 2009).

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad la implementación de una nariz electrónica sobre un mecanismo móvil, haciendo énfasis en la detección de acetona dentro de un ambiente controlado, asemejándose al modo de operación de un can adiestrado para la detección de narcóticos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de robot autónomo que sea capaz de localizar el origen de una fuente de olor dentro de un ambiente controlado.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar la etapa de potencia para el movimiento del robot.
- Diseñar la comunicación inalámbrica entre el robot y el dispositivo móvil para poder manipular el robot de manera remota.
- Diseñar la matriz de sensores químicos para la detección del aroma.
- Acoplar la matriz de sensores a la estructura mecánica del robot
- Realizar el acondicionamiento de la señal proveniente de la matriz de sensores químicos para poder realizar un algoritmo de localización de olores.
- Desarrollar un algoritmo de localización basado en la concentración de olores que permita identificar una fuente de olor.

1.4. Descripción general del proyecto

El presente proyecto pretende desarrollar un prototipo de un robot, capaz de detectar acetona, químico principal para la elaboración de sustancias estupefacientes y

psicotrópicas. Este sistema robótico será utilizado para trazar o determinar una ruta de localización hacia la fuente química de olor, dentro de un ambiente controlado.

El prototipo será puesto en marcha en una habitación cerrada con un área de 3m x 3m para minimizar el efecto de perturbaciones y contaminación externa, que no posee obstáculos para la trayectoria del robot y a través del uso de un ventilador se simula el flujo laminar de viento, favoreciendo la detección del aroma; a este entorno se lo denomina de ahora en adelante como el ambiente controlado.

En una etapa inicial, el algoritmo de localización se desarrolla en base a la concentración del olor, pero para etapas futuras de proyectos de investigación (fuera del alcance del presente proyecto) se pretende profundizar en los algoritmos de localización y simulación de dispersión de olor.

En la Figura 3, se puede observar el funcionamiento esperado del robot, dentro del ambiente controlado (sin obstáculos). De forma general, los sensores químicos, que funcionan como una nariz electrónica, sensan el ambiente con el objetivo de detectar la sustancia de interés. Esta información es enviada a un dispositivo móvil externo a la estructura mecánica del robot, la misma que será procesada para detectar la presencia del químico. El dispositivo móvil dispone del algoritmo de localización de olores dentro de una aplicación móvil basada en Android y se comunica de forma inalámbrica con el robot, de tal manera que pueda enviar la trayectoria más idónea para favorecer la localización de la fuente de olor.

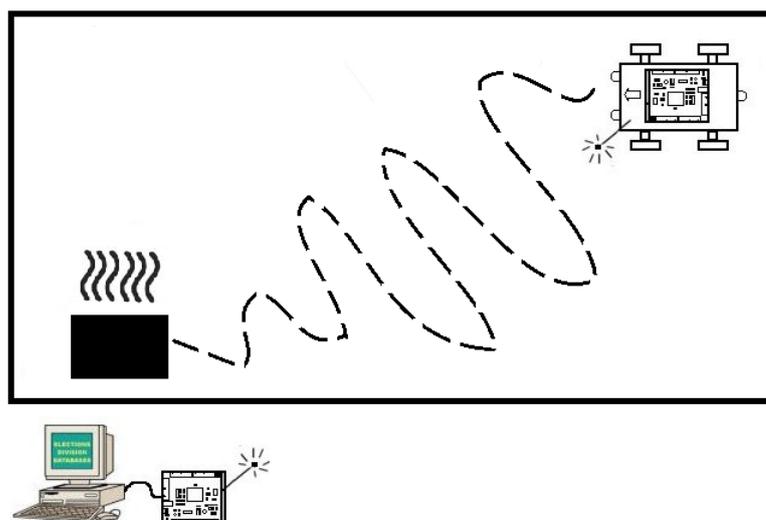


Figura 3. Prototipo en un ambiente controlado.
Fuente: Autores

El proyecto se dividirá en varias etapas como:

1. Acondicionamiento del Robot Dagu Wild Thumper. (Capítulo III)
2. Comunicación del robot con el dispositivo móvil. (Capítulo III)
3. Implementación de una matriz de sensores químicos en el robot. (Capítulo IV)
4. Procesamiento de señales de la matriz de sensores químicos. (Capítulo IV)
5. Desarrollo de un algoritmo para la localización de olores basado en la intensidad del olor (Capítulo V).
6. Pruebas de movilidad y localización dentro del ambiente controlado (Capítulo VI)

En la primera etapa se realiza la fase de potencia para el robot Dagu Wild Thumper (DAGU, 2013) mostrado en la Figura 4. Dado que el proyecto no se enfoca en el diseño de la estructura mecánica del robot, se adquirirá el robot con las prestaciones para realizar el presente proyecto y que sirva para futuras etapas de proyectos de investigación. El robot seleccionado soporta un peso de 5Kg que es suficiente para acoplar la matriz de sensores químicos y el circuito para control del robot. Este se detallará en el Capítulo III.



**Figura 4. Robot Dagú Wild Thumper.
Fuente: (DAGU, 2013)**

La segunda etapa se enfoca en desarrollar la comunicación entre el prototipo y el dispositivo móvil, de tal manera que el prototipo reciba la intensidad de olor y envíe ésta señal hacia el dispositivo móvil que, mediante una aplicación desarrollada para Android, sea el encargado de realizar los cálculos que determinen la ruta, para luego ser enviada nuevamente hacia el robot y que éste realice el movimiento. Los aspectos de esta etapa se detallarán en el Capítulo III.

La tercera etapa consiste en implementar una matriz de sensores electrónicos para detectar químicos, esta matriz debe ser acoplada a la estructura del robot y se detallará a fondo en el capítulo IV.

La cuarta etapa va orientada a captar la señal de la matriz de sensores y procesarla, de tal manera que se pueda caracterizar una señal que sea adecuada en base a los parámetros requeridos para trabajar con ella, un mayor detalle se encontrará en el capítulo IV.

En la quinta etapa se desarrollará un algoritmo basado en la concentración del olor para realizar el movimiento del robot, es decir, si el robot detecta una mayor concentración de olor en una determinada dirección, se desplazará en aquella dirección. Y se detallará en el Capítulo V.

Como etapa final, se realizarán pruebas de movilidad en un ambiente abierto y el funcionamiento del algoritmo de localización en un ambiente controlado sin obstáculos, y la corrección de errores. Y se detallará en el Capítulo VI.

CAPITULO II

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se describe los conceptos necesarios para el desarrollo del presente proyecto de investigación, donde se cubrirá principalmente el estado del arte de los temas más preponderantes como lo son: robótica móvil y narices electrónicas; además se trata sobre comunicación inalámbrica indispensable a la hora de operar un robot de manera remota.

2.1. Robótica móvil

El desarrollo de robots móviles surge como parte de la expansión de la robótica que inicialmente se encontraba limitada al alcance de una estructura mecánica fija. La robótica móvil pretende incrementar la autonomía tratando de eliminar la intervención humana, pues así se consigue un radio de acción mayor. (Company & Walter, 1968).

Las raíces de la robótica móvil incluyen algunas ingenierías, desde la eléctrica, electrónica y mecánica, hasta las ciencias sociales y cognitivas. Todas estas disciplinas buscan dar solución a la locomoción y navegación del robot (Siegwart & Nourbakhsh, 2004). Para resolver los problemas de locomoción, la robótica móvil debe comprender el mecanismo, cinemática, dinámica y teoría de control del robot y para la navegación, se debe realizar un análisis del medio en el que el robot va a operar para poder determinar los tipos de sensores a utilizar.

Un robot móvil es aquel que puede desplazarse de manera autónoma o tele-operada sobre distintos ambientes. Como se muestra en la Figura 5, el principal inconveniente es la generación de trayectorias y el movimiento de acuerdo a éstas, a partir de la información adquirida de los sensores, dando como resultado el movimiento entre dos puntos geográficamente distantes. (Bambino, 2008)

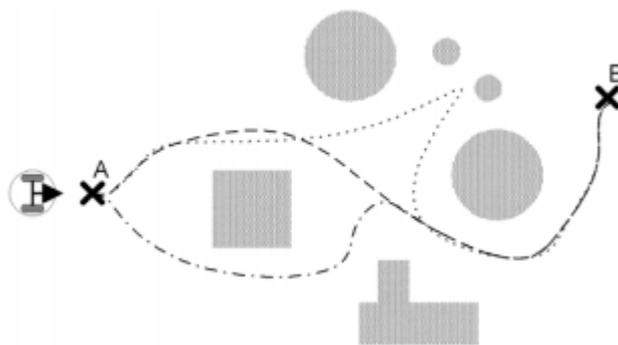


Figura 5. Posibles trayectorias que puede seguir un robot móvil.
Fuente: (Bambino, 2008)

El movimiento autónomo se logra mediante la integración de software (técnicas de control) y hardware (sensores y actuadores) (Siegwart & Nourbakhsh, 2004). Para que un robot sea autónomo, es necesario que este cuente con un sistema de locomoción como: ruedas, patas o rieles, según el terreno por el cual el robot realizará su movimiento (I, A, & Joaquín, 2007). El grado de autonomía depende de la robustez del robot para procesar la información del entorno y convertirla en órdenes que van a ser aplicadas sobre los actuadores del sistema de locomoción, garantizando la realización eficaz del movimiento. (Bambino, 2008).

Los robots móviles son ampliamente utilizados en tareas que en muchas ocasiones son riesgosas para la salud humana como traslado y acopio de materiales, interacción directa con sustancias peligrosas (Kowadlo & Russell, 2016), soldadura y piezas de montaje (Ishida, Wada, & Matsukura, 2012), seguridad civil, vigilancia, desminado humanitario, y búsqueda y rescate (Lilienthal, Loutfi, & Duckett, 2006). Un claro ejemplo de un robot móvil es el “Curiosity” que fue lanzado a Marte en el año 2011, mostrado en la Figura 6, cuya misión es evaluar la existencia de un ambiente capaz de apoyar a las pequeñas formas de vida llamados microbios en Marte. En otras palabras, su misión es determinar la habitabilidad del planeta (NASA, 2012).



Figura 6. Robot Curiosity.
Fuente: (NASA, 2012).

Las aplicaciones de la robótica móvil, integrando sensores químicos pueden ir desde encontrar la fuente de sustancias peligrosas, tales como material biológico en el aire y productos químicos peligrosos en entornos industriales como materia vegetal y drogas (Kowadlo & Russell, 2016), hasta la búsqueda de sobrevivientes en edificios dañados, terremotos, deslizamientos o avalanchas, la detección de incendios en sus etapas iniciales, la localización de minas sin explotar y bombas (Senanayake et al., 2014), entre otras.

2.2. Sensores químicos

Los sensores químicos han sido ampliamente utilizados para el análisis de compuestos orgánicos volátiles generando una extensa gama de aplicaciones en campos como la seguridad, agroindustria, etc. (James, Scott, Ali, & O'Hare, 2005). Cada sensor en la matriz tiene distinta sensibilidad, es por esto que cada sensor dentro de la matriz de sensores químicos, tendrá una única respuesta al ser expuesto al químico de interés. (Advances, 2010). Para llegar a la detección del olor, es necesario integrar técnicas de procesado de señal a la respuesta de la matriz de sensores con el fin de obtener un patrón de detección para así determinar qué tipo de químico está siendo detectado (Brudzewski, Osowski, & Pawlowski, 2012).

A la matriz de sensores químicos se la denomina nariz electrónica debido al interés de industrias como la alimenticia, agropecuaria, militar, entre otras, en imitar el comportamiento y las funciones de la nariz humana, con la finalidad de identificar aromas y detectar olores.(Lozano, Santos, & Aleixandre, 2003).

Se define entonces a la nariz electrónica como un sistema de olfato electrónico, que permite reconocer e identificar diferentes niveles de concentración de químicos presentes en el medio en el cual se desea medir la concentración de químicos (Quicazán et al., 2011). La definición más popular es la de Gardner y Barlett (Llobet, 1999), donde lo cita como un “instrumento que comprende una agrupación de sensores químicos con especificidad parcial, junto a un sistema de reconocimiento de patrones, capaz de analizar y reconocer aromas simples o complejos”.

La nariz electrónica es un sistema que consta de tres componentes funcionales que operan en serie: un sistema de absorción del olor, una matriz de sensores químicos, y un sistema de procesamiento de señales. La nariz electrónica puede identificar el químico utilizado en la muestra y estimar la concentración de la sustancia, o las propiedades del olor, tal y como podría ser percibido por el sistema olfativo (Advances, 2010).

Los sensores químicos usualmente contienen dos componentes básicos conectados en serie (Pividori, 2008), como se muestra en la Figura 7:

- **El receptor.-** Es un sistema de reconocimiento molecular. Es capaz de reconocer selectivamente un determinado componente de interés analítico de una muestra. Como resultado del reconocimiento se obtiene una señal inicial de tipo eléctrico, óptico, térmico o másico.
- **Transductor físico-químico.-** Se encarga de transformar la señal inicial del receptor en otra de tipo eléctrico, la cual es más fácilmente cuantificable, medible y manipulable.

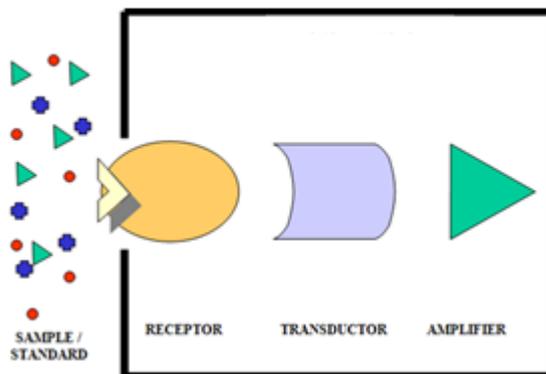


Figura 7. Estructura Interna de un sensor químico.
Fuente: (BIOSENSORES, s.f.)

El funcionamiento de la nariz electrónica tiene similitud con el funcionamiento de la nariz humana, donde las células receptoras son reemplazadas por sensores químicos no específicos que reaccionan ante diversos compuestos en estado gaseoso, no existe mucus en el que las moléculas de olor puedan disolverse pero éstas se adsorben sobre el recubrimiento sensible de los sensores. La transducción de la señal desde los receptores olfativos se reemplaza por circuitos de acondicionamiento de la señal convirtiéndola normalmente en una señal eléctrica de voltaje, finalmente, para poder reconocer un olor y su intensidad, se utiliza algún tipo de reconocimiento de patrones que sustituye la codificación de la señal neuronal en los humanos (E. C. Correa, P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent, s.f.), como se muestra en la Figura 8.

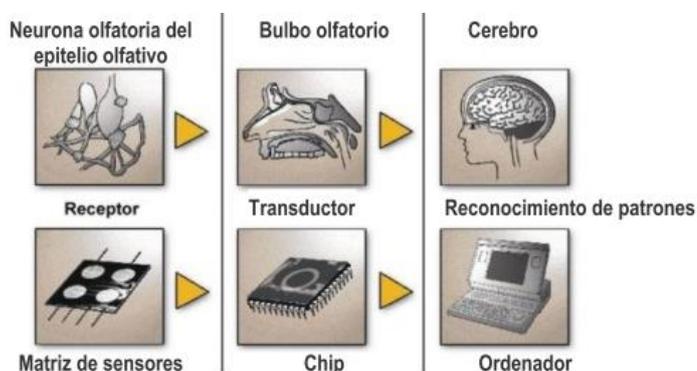


Figura 8. La nariz electrónica y el sistema del olfato humano
Fuente: (E. C. Correa, P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent, s.f.)

Entre las aplicaciones más importantes de las narices electrónicas, se nombran las siguientes:

La Agroindustria:

- Predicción de la acidez, solubilidad del sólido y firmeza de la pera (Zhang, Wang, & Ye, 2008).
- Detección de la adulteración del aceite de oliva con el aceite de avellana (Mildner-Szkudlarz & Jeleń, 2008).
- Discriminación del grado de madurez de la fruta de mango (Lebrun, Plotto, Goodner, Ducamp, & Baldwin, 2008).
- Clasificación de diferentes clases de vinos utilizando una nariz electrónica (Aleixandre et al., 2008).

Contaminación Ambiental:

- Monitorización de la calidad del agua potable (Gardner, Shin, Hines, & Dow, 2000).
- Reconocimientos de sustancias contaminantes en el agua (Goschnick, Koroncz, Frietsch, & Kiselev, 2005).
- Estudio de las emisiones de un río altamente contaminado (Lamagna, Reich, Rodríguez, Boselli, & Cicerone, 2008).
- Un nuevo sistema inteligente de la nariz electrónica para medir y analizar los olores en granjas de ganado y aves (Pan, Liu, Peng, Chai, & Yang, 2007).

Seguridad:

- Clasificación de humos (Charumpom & Omatu, 2002).

Medicina:

- Para la detección de infecciones en el tracto urinario y vaginosis bacteriana (Persaud, Pisanelli, Evans, & Travers, 2006).
- Detección de componentes volátiles orgánicos en la respiración como marcadores del cáncer de pulmón (Miekisch, Schubert, & Noeldge-Schomburg, 2004).
- Detección de infecciones pulmonares usando narices electrónicas (Staples, Ph, & Landon, n.d.).

2.2.1. Clasificación de Sensores Químicos

Existen distintos tipos de sensores químicos a emplearse en una matriz de acuerdo a su principio de operación. Estos incluyen los polímeros conductores, semiconductores de óxido metálicos, piezoeléctrico, la fluorescencia óptica y sensores de gas amperométricos (James et al., 2005). En la Tabla 1 se describen estos sensores y cuál es su principio de operación

Tabla 1.
Clasificación de sensores químicos de acuerdo a su principio de operación.

TIPO DE SENSOR	PRINCIPIO DE OPERACIÓN
Semiconductores de Óxido Metálico (MOX) Polímeros Orgánicos Conductores (CP)	Variación de la conductividad a través de un material semiconductor que actúa como recubrimiento sensible
Transmisor Efecto Campo de semiconductores de óxido metal (MOSFET)	Variación de la conductividad a través de una capa de material semiconductor que actúa como amplificador de la interacción entre el analito y el recubrimiento sensible que es una capa de metal
Amperométricos	Variación de la magnitud de corriente generada por la reacción electro-química del analito al oxidarse o reducirse sobre un catalizador en la superficie de un electrodo
Capacitancia	Variación de la constante dieléctrica del polímero que actúa como recubrimiento sensible cuando un analito se adsorbe de él.
Calorimétricos	Variación del calor de adsorción que se genera al adsorberse el analito sobre el recubrimiento sensible depositado sobre dos metales diferentes

	que cuya unión resulta un voltaje que varía con el calor adsorbido
Micro balanzas de cristal de cuarzo (QCM) Onda Acústica de Superficie (SAW)	Variación de la frecuencia de oscilación de un cristal de cuarzo sobre cuyo recubrimiento sensible se adsorben las moléculas gaseosas, incrementando la masa que soporta dicho cristal
Ópticos de fibra óptica	Variación de la propiedad óptica (índice de refracción, intensidad de luz) de un haz de luz al pasar a través de una capa o recubrimiento sensible sobre el que se han adsorbido las moléculas gaseosas de la muestra de interés.
Ópticos de colorimetría	Obtención de un patrón de cambio cuantitativo de color por diferencia de la imagen RGB de una matriz compuesta por diferentes recubrimientos sensibles antes de ser expuesta a la muestra gaseosa, de la imagen después de la exposición.

Fuente: (E. C. Correa, P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent, n.d.)

En este proyecto se pretende utilizar sensores de óxido metálico (MOX), debido a que estos sensores tienen una buena sensibilidad y durabilidad, además de ser relativamente pequeños y baratos (A. Requena, R. Quintanilla, J.M. Bolarín, A. Vázquez, A. Bastida, s.f.).

2.2.2. Procesado de señal de la matriz de sensado químico:

Filtro de Media Móvil

En ocasiones, las señales de interés están mezcladas con otras señales y no es posible distinguirlas o separarlas (A. Moreno, 2009), por lo que es necesario filtrar la señal, de tal manera que se pueda interpretar la señal adquirida de mejor manera. Para el presente proyecto de investigación, se utilizó un filtro de

media móvil, debido a su facilidad y simplicidad de embeberlo en la lógica del algoritmo de localización.

El objetivo de un filtro de media móvil es “suavizar” las fluctuaciones que pueden ser provocadas por ruido en el ambiente o en el acondicionamiento de la señal eléctrica (Webster, 1998). Este filtro es sencillo de comprender y utilizar, además de ser óptimo para reducir cualquier ruido aleatorio (Azami, Mohammadi, & Behzad, 2012).

El filtro de media móvil realiza el promedio de un número de puntos de la señal de entrada para producir cada punto de la señal de salida (Kästner, 2003), este procedimiento se repite de manera que una ventana móvil de puntos M es utilizada para calcular la media del conjunto de datos (Guiñón, Ortega, García-Antón, & Pérez-herranz, 2007). La expresión matemática que relaciona estos argumentos se muestra en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Expresión matemática del filtro de media móvil

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j] ; i > 0 \wedge i < N - (M - 1)$$

Donde ‘x’ es la señal de entrada, ‘y’ la señal de salida, ‘M’ es el número de puntos que se van a promediar, N el número total de datos. En la Figura 9 se puede observar la mejora que realiza este filtro al ser ingresado a una señal con una ventana de tres dígitos.

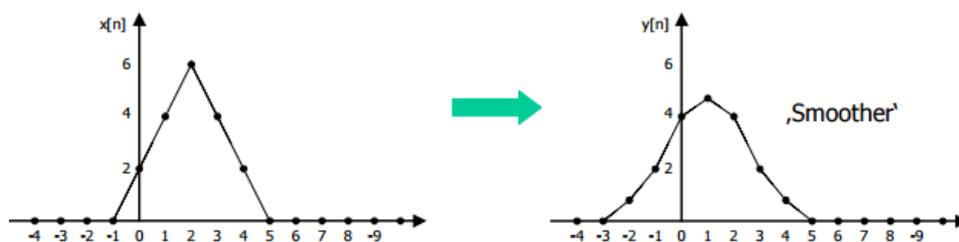


Figura 9. Filtro de media móvil.

Fuente: (Kästner, 2003)

2.3. Algoritmos de localización de olores

El algoritmo de localización a implementar en un sistema robótico, debe ser en función de las restricciones que el medio presenta y la eficiencia que se desea lograr en la detección (Villarreal, Olague, & Gordillo, 2014). Existen algoritmos que se basan en procesos naturales, intentando emular el comportamiento de algunos animales; por ejemplo, en (Morera & Moreno, 2015) nombran el algoritmo de espiral creciente, que se basa en el comportamiento de una luciérnaga, el proceso para localizar la fuente de olor se compone de dos partes: encontrar la nube de humo, y seguirla hasta localizar la fuente. El robot, en este caso realiza la búsqueda del olor a través de una trayectoria en espiral, como se muestra en la Figura 10. En un inicio, la distancia de esta espiral es arbitraria y esta se va modificando a medida que se encuentra el olor.

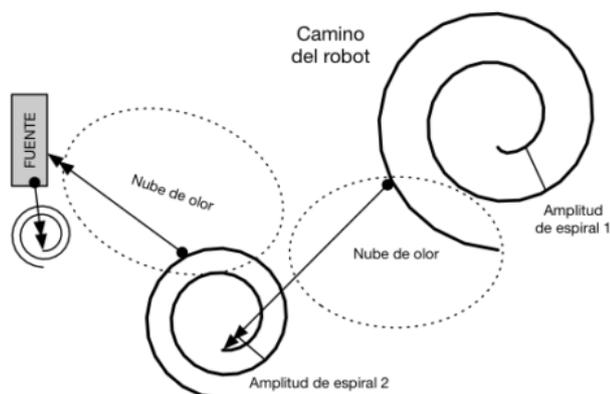


Figura 10. Esquema del movimiento de un robot obedeciendo al algoritmo de espiral.

Fuente: (Morera & Moreno, 2015)

Uno de los primeros algoritmos de localización es el que se nombra en (Villarreal et al., 2014), donde el robot debía medir la concentración de olor en cuatro posiciones distintas, y de acuerdo a ésta medida el robot realiza su movimiento. Adicional a esto, si la medida en la nueva posición es menor a la medición previa, el robot regresa a su posición anterior y realiza nuevamente la medida.

Luego, en (Nakamoto, Ishida, & Moriizumi, 1997) se nombra un algoritmo que permite localizar la fuente de olor realizando la medición en dos posiciones, donde el robot debe girar 360° y realizar la medición, con este algoritmo se asegura que el robot se acercará a la fuente de olor, pero no se asegura que localizará la fuente.

En el presente proyecto de investigación, se utilizó un algoritmo basado en la intensidad del olor, el cual realiza la medición en tres posiciones (45° , 90° y 135°), identificando la posición con mayor concentración de olor, y dirigiendo el robot hacia esa posición.

2.4. Tecnologías de comunicación inalámbrica para control remoto del robot.

En los últimos años las comunicaciones inalámbricas se han convertido en una tecnología determinante en la sociedad. El término tecnología inalámbrica engloba técnicas que permiten establecer una comunicación entre dispositivos sin la necesidad de emplear un cable, y en lugar de ello emplear el aire como medio de transmisión (Gonzalez Carvajal, Perez Mira, Daza Rebollo, & Carrillo Castrillo, 2012). Por ejemplo los celulares, han experimentado un crecimiento exponencial en la última década y tienen alrededor de dos billones de usuarios a nivel mundial. Además las redes de área local inalámbrica están reemplazando las redes cableadas en hogares, empresas y en distintos campus institucionales. Algunas aplicaciones donde se puede observar un gran crecimiento de las comunicaciones inalámbricas son: redes inalámbricas de sensores, carreteras y fábricas automatizadas, viviendas y electrodomésticos inteligentes, han surgido de ideas de investigación hacia sistemas concretos (Goldsmith, 2005).

2.4.1. Clasificación de las comunicaciones inalámbricas

De acuerdo al alcance que las redes inalámbricas poseen se clasifican en:
(Tabla 2)

Tabla 2.
Clasificación de redes inalámbricas

TIPO DE COMUNICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Redes de área personal inalámbrica (WPAN) Wireless Personal Area Network	Son redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de 10 metros.	Bluetooth Zigbee
Redes de área local inalámbrica (WLAN) Wireless Local Area Network	Es una red que cubre un área de aproximadamente 100 metros.	Wi-Fi
Redes de área extendida inalámbrica (WWAN) Wireless Wide Area Network	Tienen un alcance más amplio, para este tipo de comunicación se utilizan torres de antenas que sitúan en lugares altos	GSM (2G) UMTS (3G)
Redes de área metropolitana (WMAN) Wireless Metropolitan Area Network	Es una red de alta velocidad que proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo. Tiene un alcance de entre 4 y 10 km	WiMax

Fuente: (Gonzalez Carvajal et al., 2012)

El tipo de comunicación inalámbrica utilizada para el presente proyecto de investigación es WLAN, debido a que la distancia mínima de operación es de cinco (5) metros fuera del ambiente controlado, además para futuros proyectos, se necesita que el robot pueda operar en campo abierto, superando los veinte (20) metros de distancia entre el robot y el dispositivo móvil. Para el control se utiliza una aplicación Android que es compatible con varios dispositivos móviles, a partir de la versión Android 4.1 (Jelly Bean), haciendo el modo de operación sencillo y portable.

CAPITULO III

ACONDICIONAMIENTO Y COMUNICACIÓN CON EL ROBOT

En este capítulo se detalla el proceso de selección del robot en base a las características de la estructura mecánica para la aplicación actual y futuros desarrollos. Además, describe el sistema de control para la variación de la velocidad y el sentido del movimiento del robot, también se indica el proceso de comunicación inalámbrica y la interacción entre el robot y la aplicación Android desarrollada.

3.1. Elección de la estructura mecánica del robot

La selección del robot se la hizo de acuerdo a los siguientes requerimientos:

- **Carga promedio mínima de 3Kg:** Debido a la necesidad de acoplar una carga de aproximadamente 3 Kg, conformada por: dos baterías con un peso combinado de 1.5Kg, el hardware que se utiliza (matriz de sensores químicos, un servomotor, circuito de arranque de los motores, etc.) con un peso aproximado de 1 Kg. Además es necesario que el robot pueda soportar más carga para futuras modificaciones o desarrollos, las cuales pueden incluir hardware adicional incorporado al robot, al menos 1Kg más.
- **Facilidad de montaje de hardware a la estructura:** Con la finalidad de permitir que el hardware a ser integrado al robot sea fácil de acoplar, es necesario que la estructura disponga de ranuras (slots) adecuados para la instalación y espacios dedicados a facilitar la inserción de hardware
- **Movilidad en cualquier terreno:** Para futuros proyectos, el robot puede ser utilizado en campo abierto, es decir, fuera del ambiente controlado propuesto, por ello características que permitan una mayor movilidad de la estructura robótica son necesarios.
- **Operación continua de 1 hora:** El funcionamiento del robot necesita garantizar un tiempo similar o superior al que ofrece un can adiestrado.

De acuerdo a lo planteado y la revisión de opciones en el mercado, la estructura Dagu Wild Thumper 6WD (DAGU, 2013), es la que más se adapta a los requerimientos, por lo cual es la seleccionada. Las características del DAGU pueden ser observadas en la Tabla 3.

Tabla 3.
Características robot Dagu Wild Thumper.

Carga máxima	6 Kg.
Carrocería	Con slots y orificios distribuidos uniformemente.
Superficie	Apto para césped, nieve, montículos, suelo de piedra, se puede subir escaleras, de gran alcance, carga un poco más fuerte
Corriente de cada motor sin carga	350 mA
Voltaje nominal	2.5 V – 7.5 V

Fuente: (DAGU, 2013)

De acuerdo a las características eléctricas de la Tabla 3, se realizó el cálculo de consumo de energía:

$$\text{Número de motores} = 6$$

$$\text{Batería: } 12V \ 4Ah$$

$$\text{Corriente de hardware} = 500mA$$

$$\text{Corriente de cada motor} = 350mA$$

$$\text{Tiempo de uso} = \frac{4Ah}{(6 * 0.35A) + 0.5A} = 1,54 \text{ horas}$$

$$\text{Tiempo de uso} = \mathbf{1 \text{ hora } 32 \text{ minutos}}$$

Como se puede observar, el robot seleccionado cumple con todos los requisitos necesarios para la ejecución del proyecto.

3.2. Etapa de potencia del robot Dagu Wild Thumper

Para la etapa de potencia y antes de realizar el arranque del robot, fue necesario verificar los valores teóricos de corriente de los motores brindados por el fabricante con los valores reales medidos. Para esto, se energizó cada uno de los motores por separado, dando los siguientes valores:

- Corriente pico: 1,15 A
- Corriente nominal: 0,54 A

Otro aspecto a revisar es el voltaje de operación, debido a que el voltaje proporcionado por la fuente de alimentación es de doce (12) voltios, y el rango de voltajes para la operación de los motores del robot es de 2.5V – 7.5V, fue necesario reducir el voltaje de operación con un conversor DC-DC. Teniendo en cuenta las especificaciones del proyecto, se seleccionó el conversor DC-DC LM2596S (Texas Instruments, 2013) el cual permite lograr la reducción, manteniendo los requerimientos planteados. En la Figura 11 se puede observar el conversor.

Este conversor es tipo Buck (reductor), que permite trabajar con voltajes desde 1.2V hasta 37V, con una corriente máxima de 3A sin disipador y de 5A con disipador (Texas Instruments, 2013) . Al analizar los valores de la Tabla 3, se puede notar que la corriente necesaria para el arranque simultáneo de los 6 motores es de 6.9A, por lo que se utilizan dos convertidores DC – DC, con tres motores cada uno, de tal manera que cada conversor maneje 3,45A en el arranque del robot y 1,62A en la operación normal del robot.

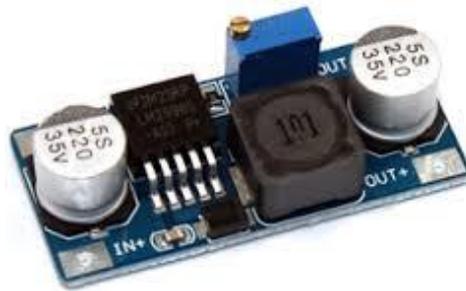


Figura 11. Conversor DC – DC LM2596S.
Fuente: (GeekFactory, s.f.)

El esquema de potencia se muestra en la Figura 12. Como se puede observar, se ha considerado los tres motores de un lado del robot como uno solo (denominado Motor1) y los tres motores del lado opuesto como otro motor (denominado Motor2). Esta consideración permite se economice costos en elementos y programación, ya que el movimiento de los motores será el mismo. Sin embargo cabe indicar que, con la configuración planteada, se pierde independencia en el movimiento de cada llanta lo cual afecta al movimiento del robot en un entorno abierto donde estén presentes obstáculos (piedras, montículos de arena, etc.). Esto no representa inconveniente en el desarrollo y alcance del proyecto planteado, pues el movimiento del robot se lo realiza en un ambiente controlado, sin obstáculos.

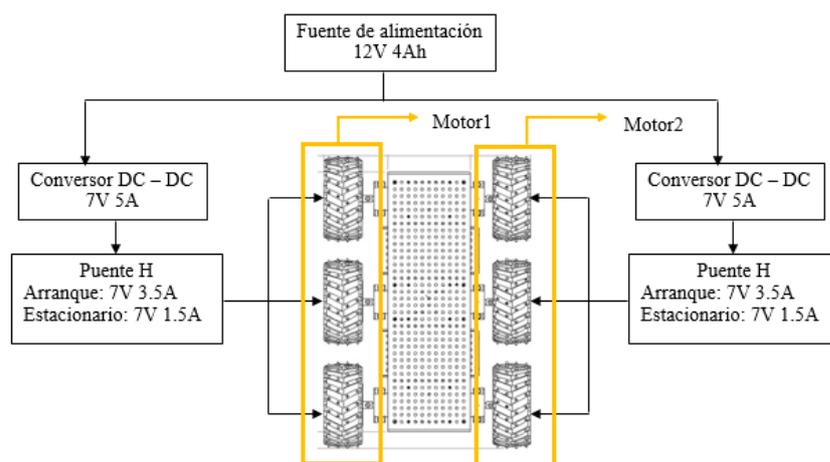


Figura 12. Conexión de la etapa de potencia.
Fuente: Autores

3.2.1. Diseño del circuito de potencia y posicionamiento

Como aspecto importante de operatividad del robot, es necesario que este permita invertir su movimiento, para lo cual se utiliza un puente H acoplado al encendido de los motores. Además, es necesario que se pueda manipular su velocidad, de tal manera que sea posible modificar su trayectoria. Para solventar los requerimientos, se planteó un circuito basado en relés doble inversor de 12V; la ventaja de utilizar relés, es que el circuito no se calienta debido a la disipación del calor y no existe riesgo de que se pueda quemar con la estática. El circuito propuesto que permite el cambio de giro se muestra en la Figura 13.

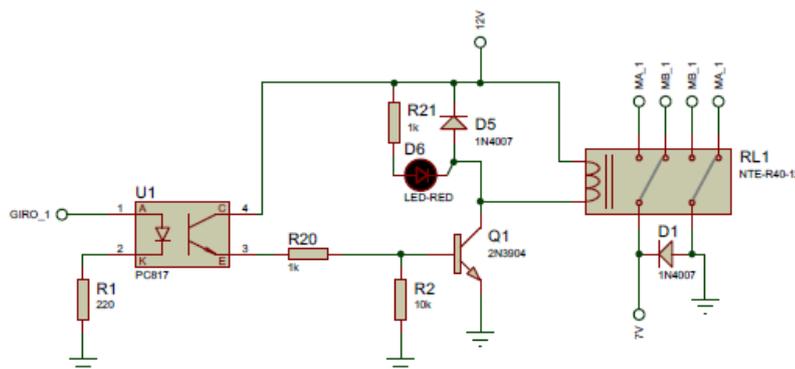


Figura 13. Diseño de puente H con relés.
Fuente: Autores

El funcionamiento del circuito (Figura 13) se describe a continuación: A la entrada del opto acoplador (*U1*), ingresa un pin lógico del micro controlador (*GIRO_1*), encargado de permitir la conducción o no del opto acoplador. Esto permite que el transistor (*Q1*) conmute, activando así la bobina del relé, de tal manera que los contactos se cierren o abran, permitiendo el movimiento del motor. Con este circuito, el motor siempre estará en movimiento, ya sea en sentido horario o anti horario, por eso es necesario variar su velocidad para que el robot pueda detenerse al localizar la fuente de olor.

El funcionamiento de los motores se observa en la Tabla 4:

Tabla 4.
Funcionamiento puente H con relés

Entrada	Salida
0	Giro en sentido horario
1	Giro en sentido anti horario

Fuente: Autores

La velocidad que recibe el robot viene dada por el microcontrolador mediante una señal de modulación de ancho de pulso (PWM). En la Figura 14 se encuentra el circuito de cambio de giro más la variación de velocidad.

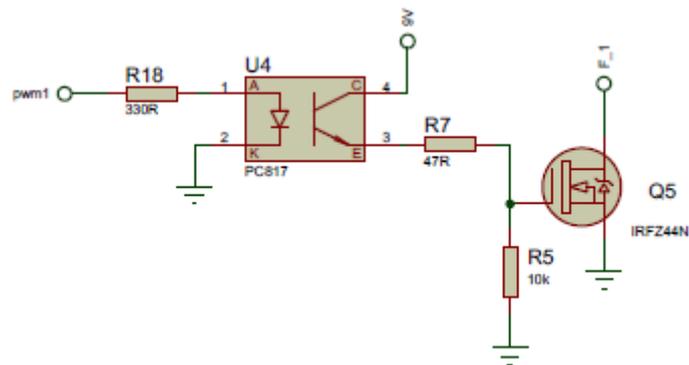


Figura 14. Control de velocidad.

Fuente: Autores

La señal PWM, proviene del microcontrolador (*pwm1*), es una señal entre 0 y 3V, motivo por el cual se conecta un optoacoplador (*U4*) a 9V, que permite la conmutación del transistor MOSFET (*Q5*), obteniendo la variación de velocidad mediante la conmutación a tierra de la señal “F_1” y el aislamiento del circuito de control con el circuito de potencia.

Para la elaboración de la placa de circuito PCB (Ver Anexo 1) de la etapa de potencia y de control, es necesario tomar en cuenta el ancho de las pistas, ya que la circulación de corriente es distinta, causando que la disipación de calor en ambas etapas no sea la misma. Con el fin de solucionar el inconveniente se utilizó el software “PCB Trace Width Calculator” (Brad, 2006), que ayuda a realizar el cálculo adecuado de la pista, de acuerdo a la cantidad de corriente que circulará por ella. La selección de las pistas que se utilizaron se muestra en la Figura 15 para la etapa de potencia y en la Figura 16 para la etapa de control. Y como resultado de la aplicación del software, el ancho de la pista obtenido para la etapa de potencia fue de 3 mm, mientras para la etapa de control fue de 0.5 mm.

Inputs:

Current	3.45	Amps
Thickness	2	mm ▼

Results for Internal Layers:

Required Trace Width	2.97	mil ▼
Resistance	0.00297	Ohms
Voltage Drop	0.0103	Volts
Power Loss	0.0354	Watts

**Figura 15. Cálculo del ancho de pista para la etapa de potencia.
Fuente: (Brad, 2006)**

Inputs:

Current	1	Amps
Thickness	2	mm ▼

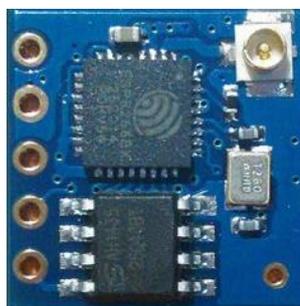
Results for Internal Layers:

Required Trace Width	0.538	mil ▼
Resistance	0.0164	Ohms
Voltage Drop	0.0164	Volts
Power Loss	0.0164	Watts

**Figura 16. Cálculo del ancho de pista para la etapa de control.
Fuente: (Brad, 2006)**

3.3. Comunicación entre el robot y el dispositivo móvil

Debido a los requerimientos y modo de operación del robot, es necesario que se pueda comunicar inalámbricamente con cualquier dispositivo móvil, de manera que se puedan enviar y recibir instrucciones de forma remota, y ya que la distancia mínima de operación definida es de cinco (5) metros fuera del ambiente controlado, y para futuros proyectos se necesita al menos veinte (20) metros de distancia entre el robot y el dispositivo móvil, se había optado por tecnologías WLAN. Para cumplir con este parámetro, esta comunicación se la realizó a través del módulo Wi-Fi ESP-8266-05, mostrado en la Figura 17; módulo que permite una comunicación Wi-Fi, bajo estándar 802.11 b el cual puede llegar hasta un alcance de 100m con antena externa (Mike Barela, 2015).



**Figura 17. Módulo Wi-Fi ESP-8266-05.
Fuente: (WOUTER VAN OOIJEN, 2015)**

La operación de este módulo se la realiza con comandos AT a través de comunicación serial (RS232). Los comandos utilizados para configurar este dispositivo se los detalla en la Tabla 5.

Tabla 5.
Comandos AT utilizados para la configuración inicial.

Comando AT	Respuesta	Función
AT	OK	Permite conocer si el dispositivo se encuentra activo.
AT+RST	OK	Resetea el modulo a su estado de fábrica.
AT+CWSAP	OK	Permite modificar el nombre de la red y asignar una contraseña
AT+CIPMUX	OK	Permite establecer el número de conexiones (TCP/UDP). 0= conexión simple; 1=conexión múltiple.
AT+CIPSERVER	OK	Configura el módulo como servidor y establece el puerto de conexión

Fuente: (Systems & Team, 2015)

El flujo de información se puede observar en la Figura 18, donde el microcontrolador configura el módulo ESP8266 como servidor, aceptando múltiples conexiones. El dispositivo móvil se conecta a la red creada por el módulo Wi – Fi, cuyo nombre por defecto es “ESP8266” que ha sido modificada por “TESIS” sin la necesidad de una contraseña, enviando los datos de PWM de cada motor, permitiendo la manipulación del robot de manera remota. No se asignó una contraseña debido a que se está trabajando en un ambiente controlado, para futuros desarrollos es recomendable asignar una contraseña.

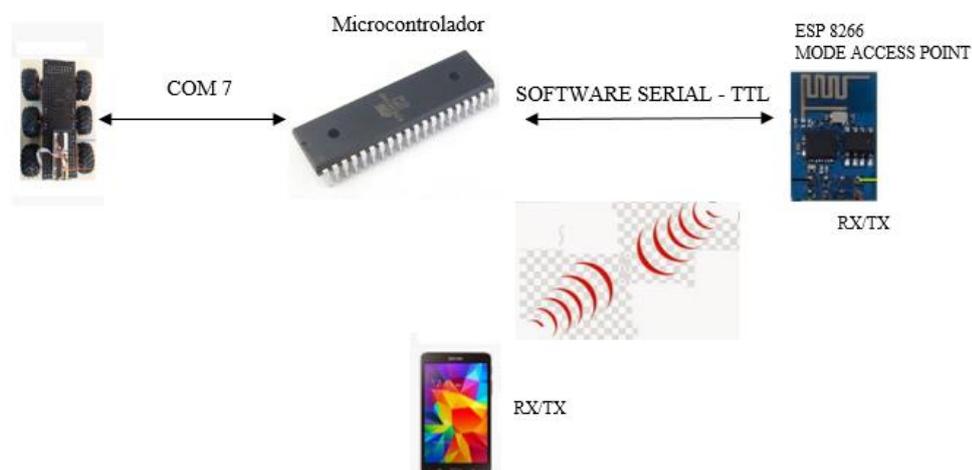


Figura 18. Forma de comunicación inalámbrica
Fuente: Autores

El circuito que permite el envío y recepción de datos por transmisión serial desde el micro controlador hacia el módulo Wi-Fi, se muestra en la Figura 19. El pin de transmisión (T_x) del módulo Wi-Fi se encuentra conectado con el pin de recepción (R_x) del microcontrolador y el pin Rx del módulo Wi-Fi se encuentra conectado con el pin Tx del microcontrolador, permitiendo la comunicación entre ambos para el envío y recepción de datos.

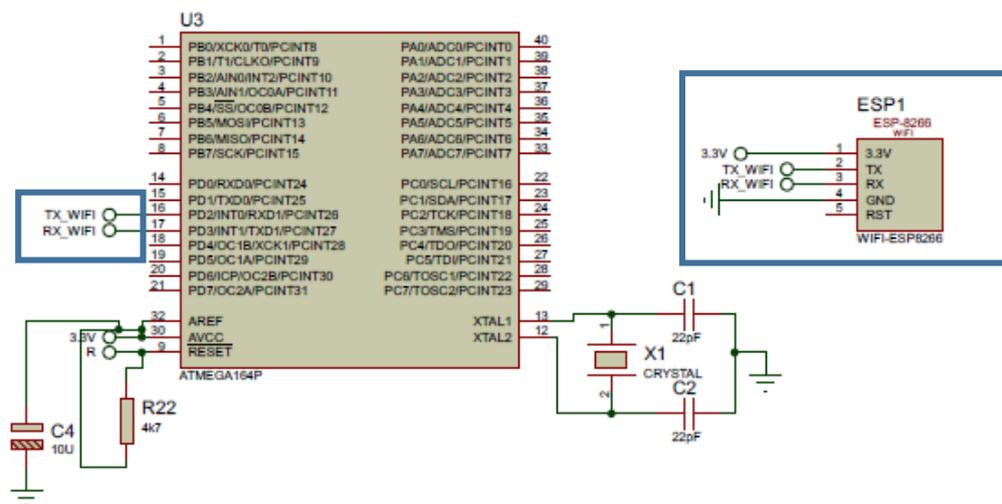


Figura 19. Comunicación Inalámbrica.
Fuente: Autores

Los datos que recibe el módulo Wi-Fi provienen de la aplicación Android desarrollada; esta envía los datos de velocidad y sentido de giro continuamente que a su vez son procesados por el microcontrolador ubicado en el robot para su movimiento, a través del protocolo mostrado en la Tabla 6.

Tabla 6.
Protocolo de comunicación

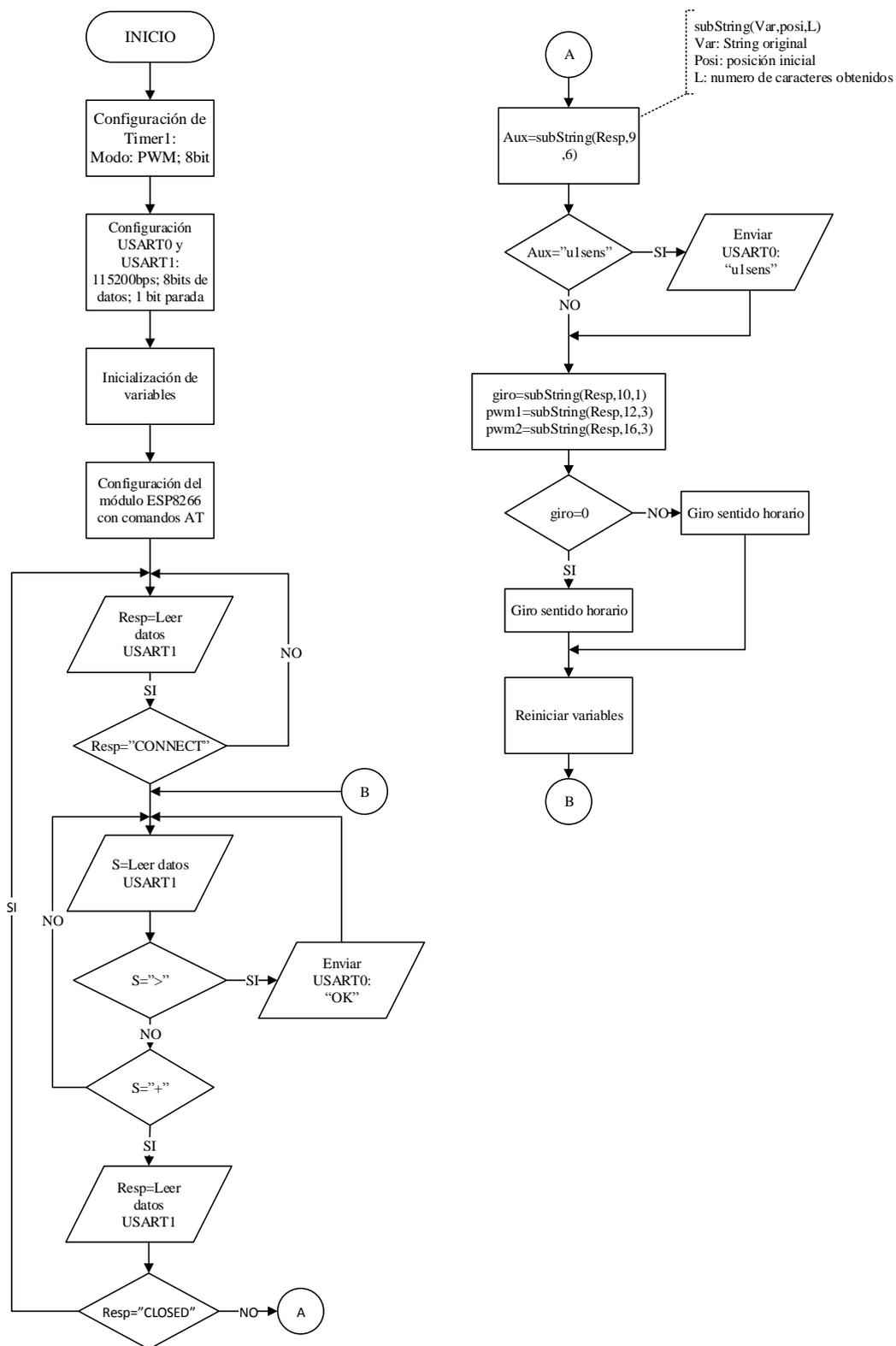
1	-	2	0	0	-	1	5	0
Giro	-	Pwm1	-	Pwm2				

Fuente: Autores

Donde el primer dígito corresponde al sentido (horario=0, antihorario=1), los siguientes tres dígitos corresponden al valor de PWM (0-255) de los motores del lado derecho del robot, y los tres dígitos restantes corresponden al valor de PWM (0-255) del lado izquierdo del robot. De esta manera independientemente de la aplicación utilizada, la activación y el acondicionamiento de los motores será el mismo siempre

y cuando se respete el protocolo de la Tabla 6, caso contrario, existirá un error en el movimiento del robot.

El funcionamiento global del movimiento del robot, se encuentra detallado en un diagrama de flujo (Figura 20), y el código fuente del programa desarrollado se muestra en el Anexo 2, se debe tener en cuenta que el microcontrolador fue programado a través del software BASCOM AVR. El movimiento del robot inicia cuando la comunicación entre el dispositivo móvil y el robot es realizada. Luego, al presionar la pantalla del dispositivo se envían de manera remota los datos de giro y PWM de cada uno de los motores, estos datos son capturados por el robot y realiza el movimiento, acorde a los datos recibidos.



**Figura 20. Diagrama de Flujo de la etapa de potencia del robot.
Fuente: Autores**

3.4. Desarrollo de la aplicación móvil para Android

Para el desarrollo de la aplicación móvil, se debe tomar en cuenta los requerimientos del proyecto, entre ellos la aplicación debe:

- Ser desarrollada en lenguaje compatible con el sistema operativo Android.
- Ser capaz de comunicar a través de Wi-Fi el dispositivo con el módulo ESP8266.
- Los datos a enviar serán: el sentido de giro del robot, y la velocidad a la que éste debe moverse.
- Posee dos (2) modos de operación:
 - **Manual:** la operación del robot se la realiza mediante el uso de un joystick, dirigiendo el robot hacia la fuente de olor.
 - **Automático:** el robot realizará el movimiento hacia la fuente del aroma sin la intervención de un operario.

Con el fin de cumplir con los requerimientos, se decidió utilizar Android Studio que es un entorno de desarrollo integrado para la plataforma Android, el cual está basado en el software IntelliJ IDEA de JetBrains, y es publicado de forma gratuita a través de la Licencia Apache 2.0, está programado en Java y es multiplataforma.

En función de lo anterior, la aplicación se desarrolló en el software “Android Studio” y el código fuente se muestra en el Anexo 3. En la Figura 21, se observa el diagrama de flujo de la actividad principal de la aplicación para Android que consta de cinco elementos que se detallan a continuación:

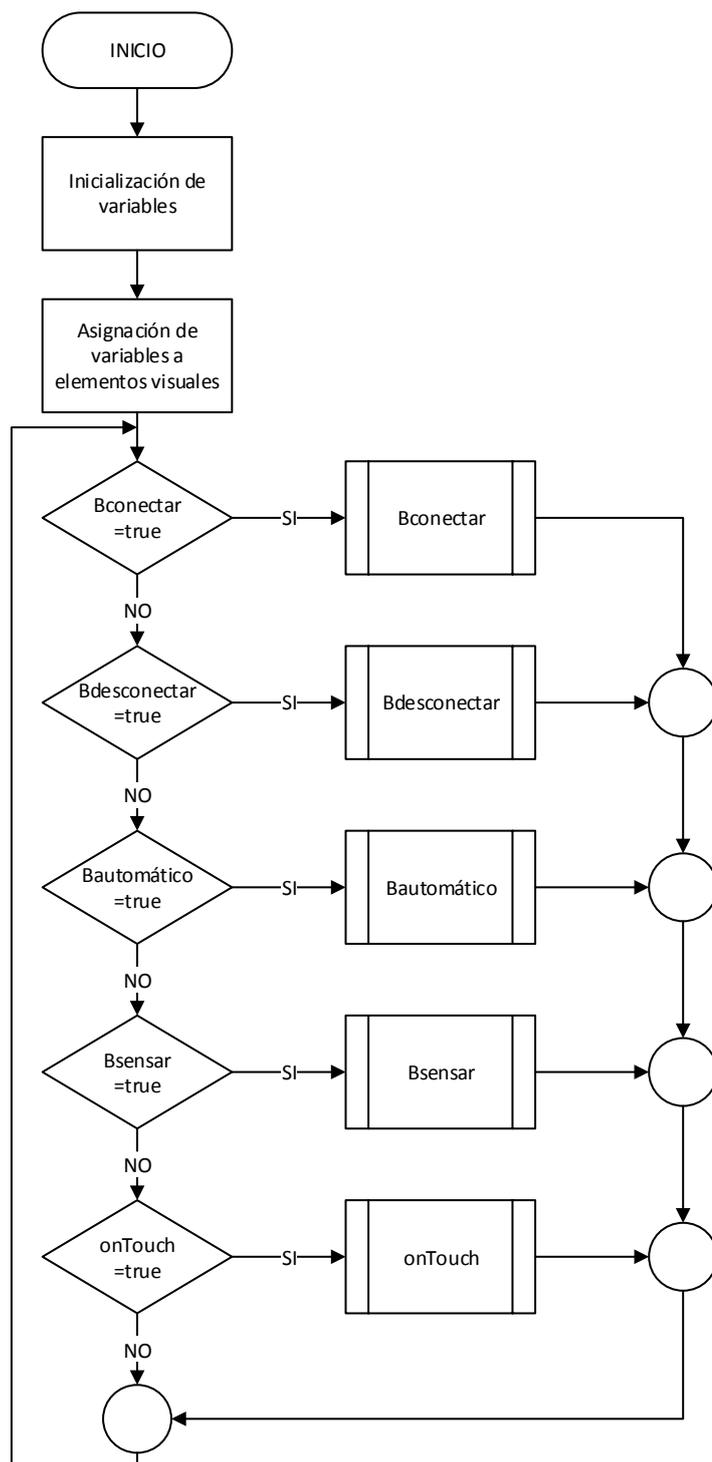


Figura 21. Diagrama de Flujo Aplicación para Android
Fuente: Autores

- **Conexión:** A través de un botón “Conectar”, se inicia la comunicación entre el dispositivo móvil y el robot como se describe en la Figura 22, en la subrutina “Bconectar”.

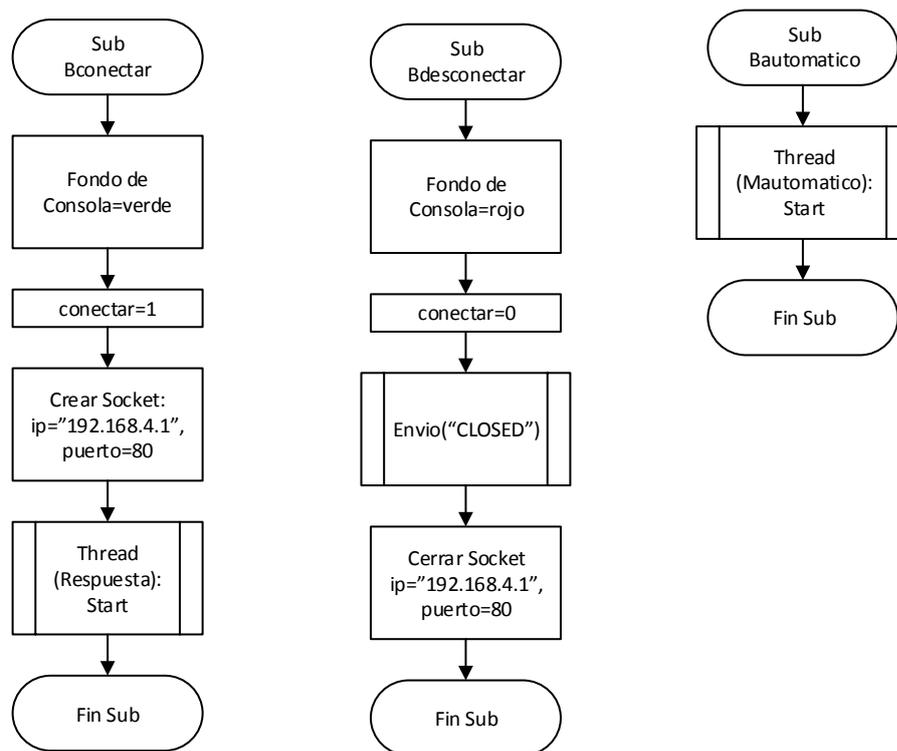


Figura 22. Diagrama de Flujo Conexión, Desconexión y Modo de Operación
Fuente: Autores

- **Desconexión:** A través de un botón “Desconectar”, se cierra la comunicación entre el dispositivo móvil y el robot, liberando el puerto utilizado, como se muestra en la Figura 22, en la subrutina “Bdesconectar”.
- **Medición:** En el modo de operación manual, el botón “Sensor” permite realizar el sensado del ambiente, su funcionamiento general puede ser visto en la Figura 23 en la subrutina “Bsensor”.

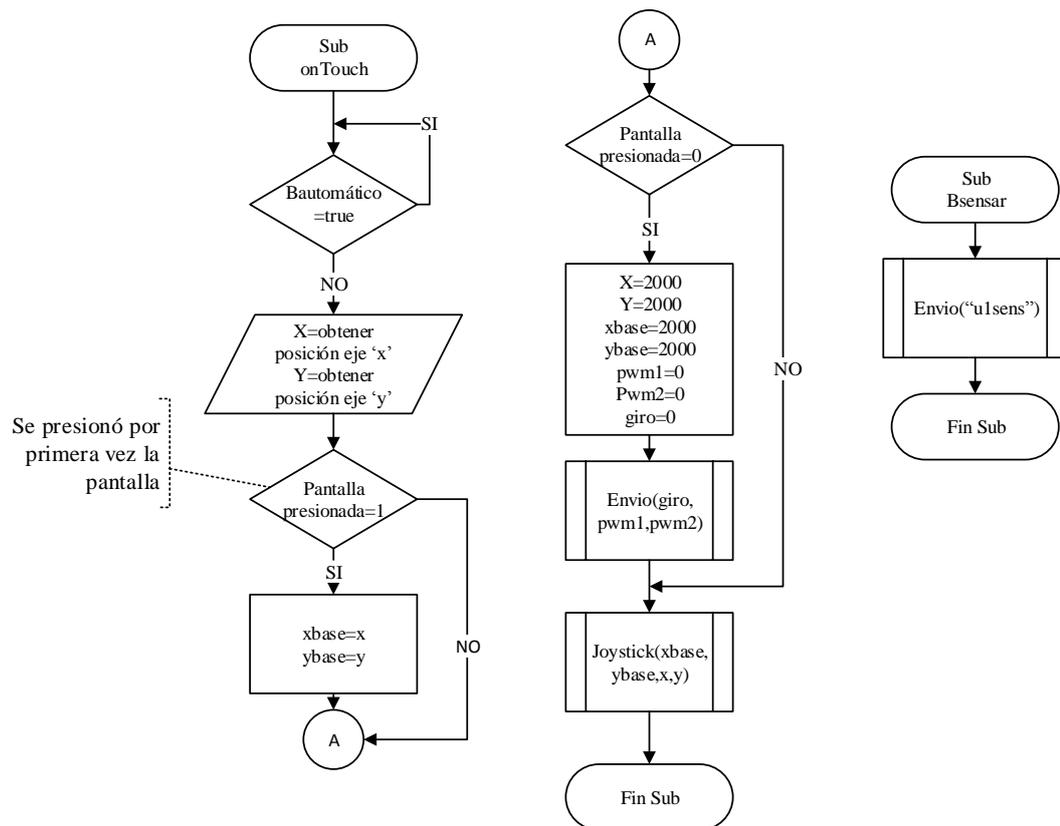


Figura 23. Diagrama de Flujo Sensado en el modo Manual y Método OnTouch
Fuente: Autores

- **Modo de operación:** A través del botón “Automático” se puede activar o desactivar el modo de operación automático. Al activarlo, el modo de operación manual es desactivado por lo que el robot hará las operaciones de manera autónoma. La Figura 22, en la subrutina “Bautomatico”, muestra la lógica de programación de este botón.
- **On Touch:** Rutina que permite reconocer si la pantalla del dispositivo móvil está presionada, permitiendo conocer el estado del joystick, como se muestra en la Figura 23, dentro de la subrutina “onTouch”.

Las subrutinas “Respuesta”, “Envío”, y “Mautomatico” se detallan a continuación y su diagrama de flujo se muestra en la Figura 24:

- **Respuesta:** Subrutina que recibe los datos del microcontrolador correspondientes al sentido de movimiento y velocidad de cada motor.
- **Envío:** Se encarga de cerrar la comunicación entre el dispositivo móvil y el robot.
- **Mautomatico:** Es la subrutina, en base a la respuesta de los sensores químicos enviada por el robot, elige la dirección en la cual el robot se moverá (ver apartado 5.2), enviando los valores de PWM respectivos al robot.

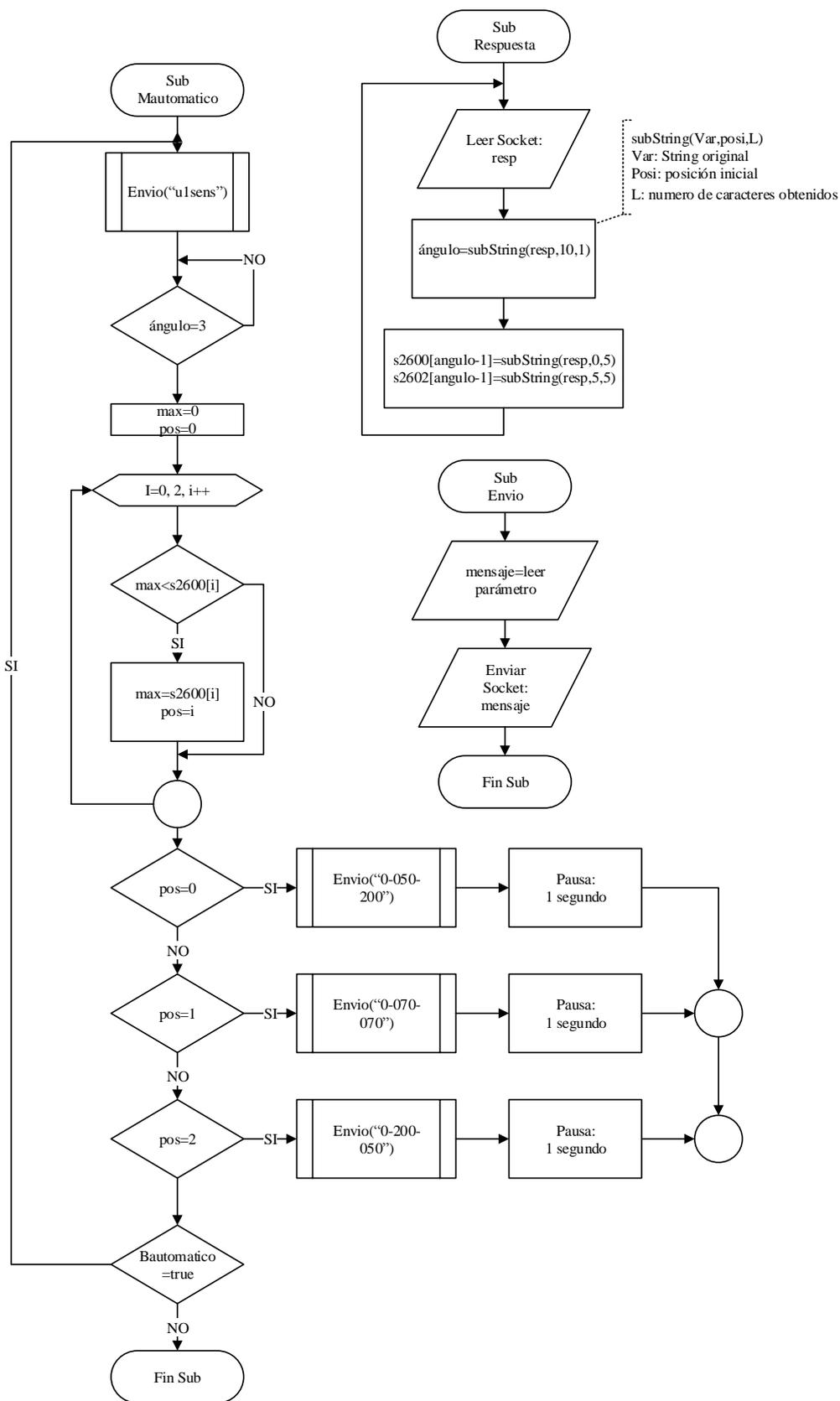


Figura 24. Diagrama de Flujo Modo automático, Envío y Respuesta
 Fuente: Autores

Debido a que se necesita operar el robot de manera manual, la aplicación incluye un joystick virtual que satisface el requerimiento de control, para ello es necesario la utilización de CANVAS, que permite la generación de gráficos en forma dinámica por medio de programación dentro de una página (Angel & Ascu, s.f.). El CANVAS no se lo puede programar directamente en el archivo “Activity_tesis.xml”, por lo que se lo realiza en el archivo “Tesis.java” ejecutándose al iniciar la aplicación. La programación del CANVAS se la puede observar en el Anexo 5 y su funcionamiento se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 25.

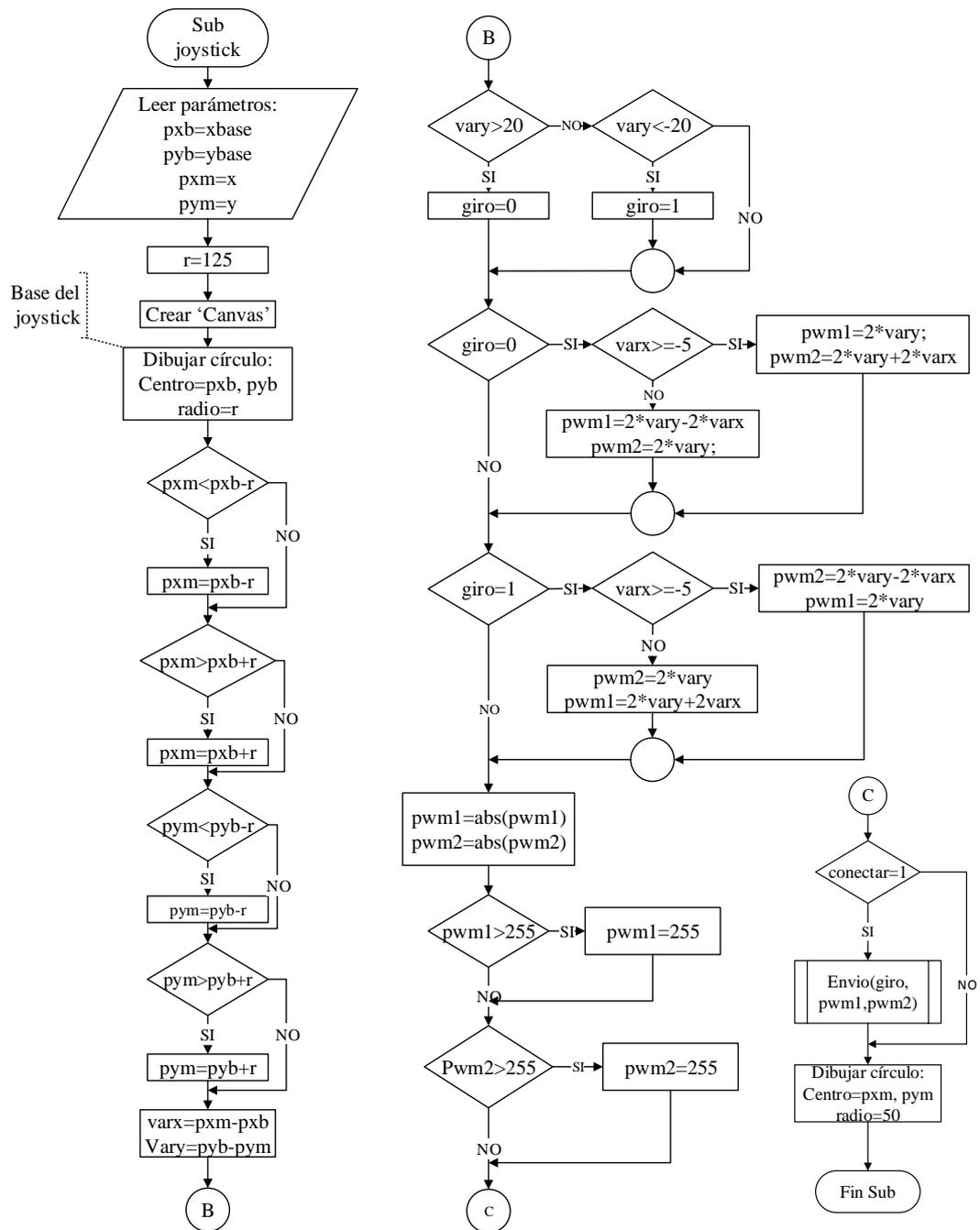


Figura 25. Subrutina Joystick.
Fuente: Autores

La programación de la interfaz de la aplicación para Android se la realiza en el archivo “Activity_tesis.xml”, cuyo código se muestra en el Anexo 4. Donde toda la interfaz se encuentra en un RelativeLayout, que permite ubicar los elementos uno con respecto a otro, la jerarquía dentro del RelativeLayout utilizada en la programación de

la interfaz se observa en la Figura 26. Los elementos utilizados que heredan los atributos del RelativeLayout son los siguientes:

- **TextView:** permite insertar un cuadro de texto, utilizados en el encabezado de la aplicación y en los mensajes al operador.
- **ImageView:** permite visualizar una imagen, utilizado en el sello de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE y del Departamento de Eléctrica y Electrónica.
- **Button:** permite insertar un botón, utilizado para la conexión y desconexión con el módulo ESP8266 y para medir los valores de los sensores en el modo de operación manual.
- **ToggleButton:** permite insertar un botón que mantiene el estado, es decir, este queda presionado al oprimir el botón. Utilizado para encender y apagar el modo automático de operación.

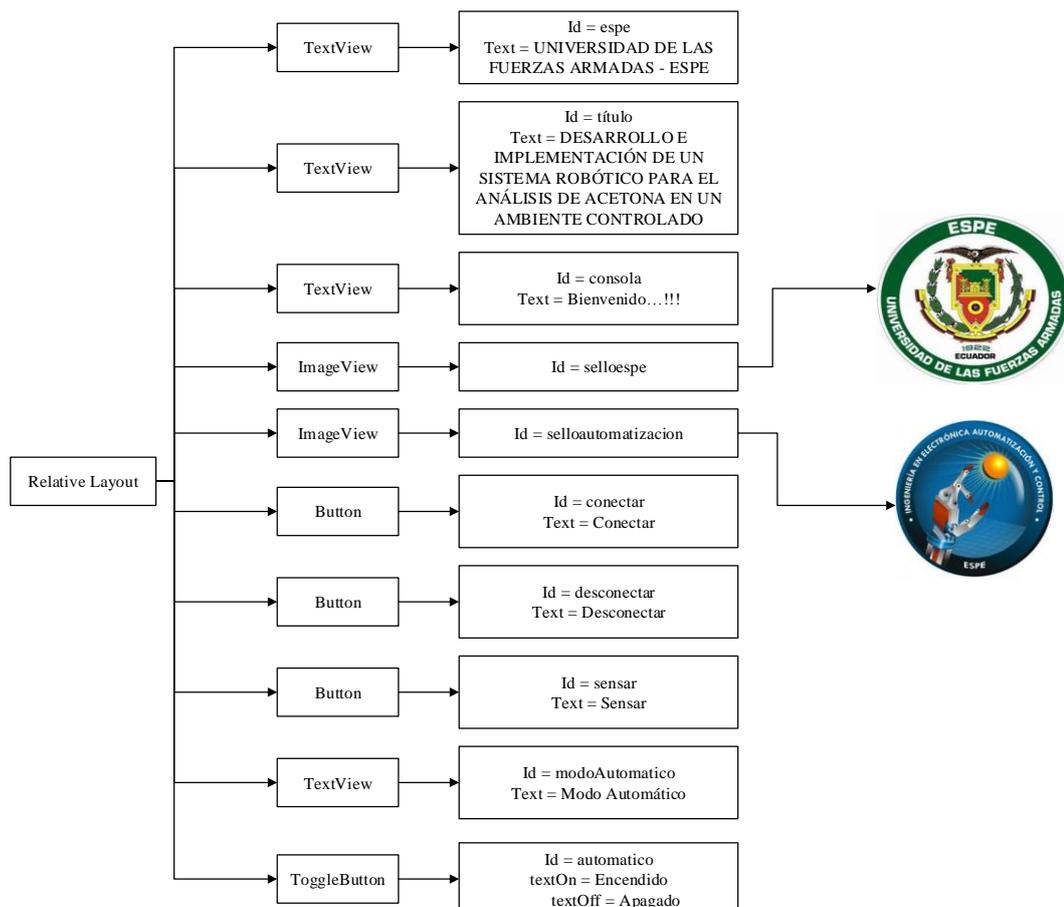


Figura 26. Jerarquía interfaz gráfica.
Fuente: Autores

Finalmente, la comunicación entre el dispositivo móvil y el módulo Wi-Fi se la realiza mediante SOCKETS, que son puntos de comunicación por el cual un proceso puede emitir o recibir información. Para poder utilizarlos se debe dar los permisos necesarios a la aplicación en el archivo “AndroidManifest.xml” como se muestra en el Anexo 6. Los permisos utilizados para la comunicación WIFI, se los detalla en la Tabla 7.

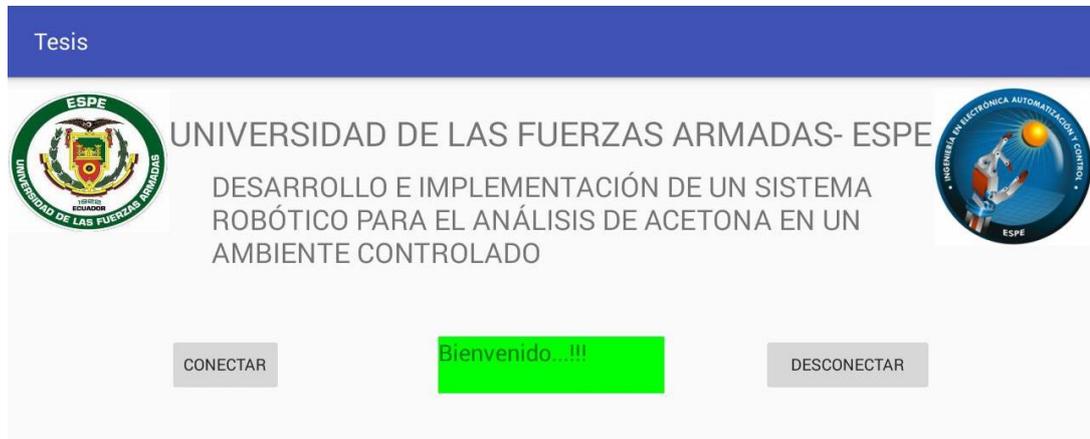
Tabla 7.
Permisos de WI-FI.

Permisos	Función
<code><uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE" /></code>	Permite que las aplicaciones accedan a información sobre redes.
<code><uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_WIFI_STATE" /></code>	Permite que las aplicaciones accedan a la información acerca de las redes WIFI.
<code><uses-permission android:name="android.permission.CHANGE_WIFI_STATE" /></code>	Permite que las aplicaciones cambien de estado de la conectividad WIFI.
<code><uses-permission android:name="android.permission.INTERNET" /></code>	Permite la utilización de SOCKETS.

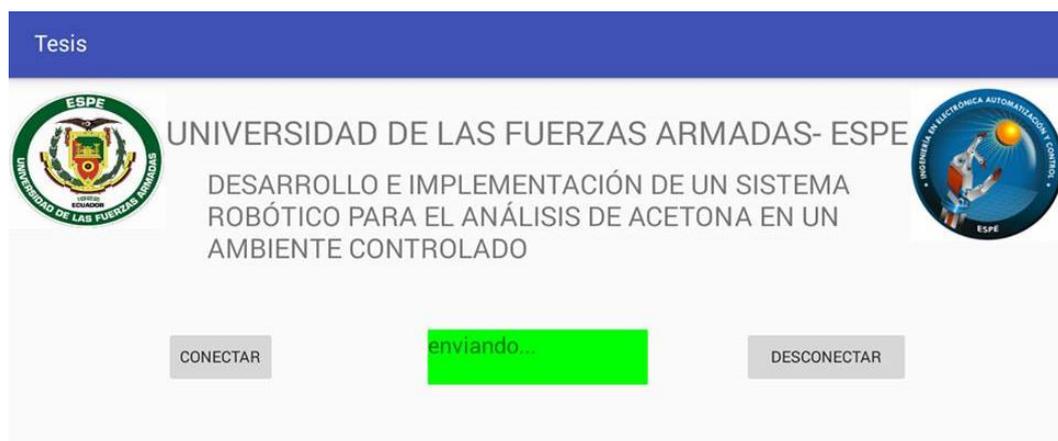
Fuente (Developers, 2016)

Antes de realizar cualquier envío de datos hacia el módulo ESP8266, se debe verificar y asegurar que el dispositivo móvil se encuentre conectado en la misma red local. Para enviar datos al módulo WI-FI con el uso de SOCKETS se utilizó el código mostrado en el Anexo 7. Donde al presionar cualquier parte de la pantalla se envía los datos hacia el módulo ESP8266. La interfaz que se desarrolló posee la siguiente funcionalidad. Al presionar el botón conectar se establece la comunicación con el módulo ESP8266 (Figura 27 (a)). Al presionar cualquier parte de la pantalla, se envían

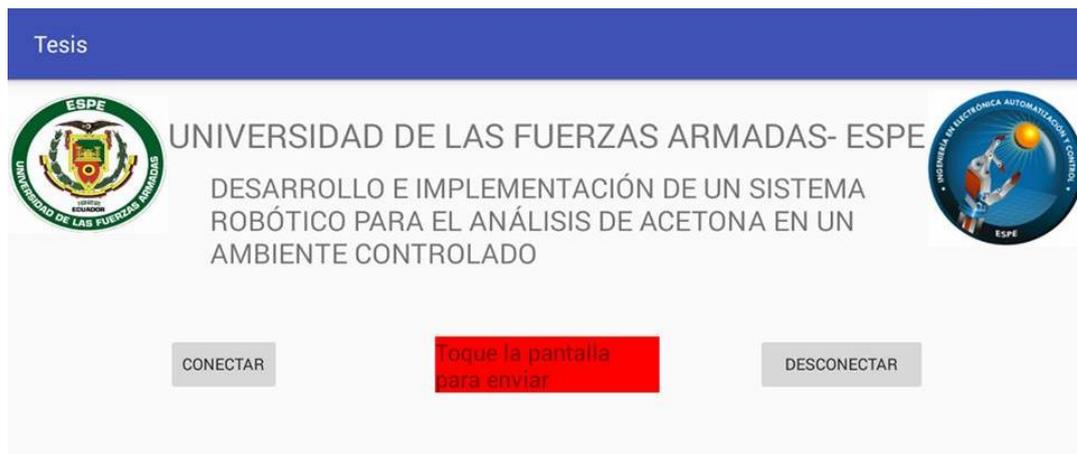
los datos al módulo ESP8266 (Figura 27 (b)). Al presionar el botón desconectar, se cierra la comunicación (Figura 27 (c)).



(a)



(b)



(c)

Figura 27. (a) Conexión a la red del módulo ESP8266, (b) Envío de datos al módulo ESP8266, (c) Desconexión de la red del módulo ESP8266.

Fuente: Autores

Para una mejor gestión del estado del módulo ESP8266, este puede ser monitoreado a través del puerto de comunicación serial, de donde se puede extraer y observar el inicio de la conexión de un dispositivo, seguido de los datos enviados por el mismo y finalmente el cierre de la conexión por parte del dispositivo (ver Figura 28).

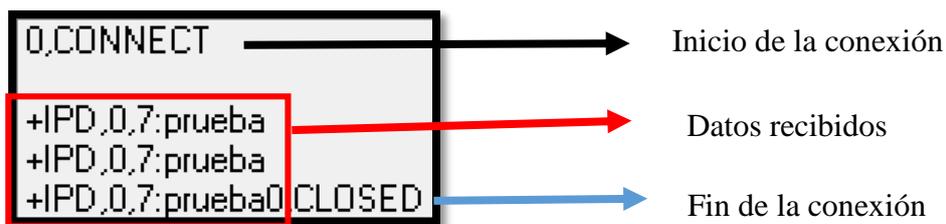


Figura 28. Datos recibidos por el módulo ESP8266.

Fuente: Autores

CAPITULO IV

MATRIZ DE SENSORES QUÍMICOS

En este capítulo se describe los sensores químicos que conforman la matriz de sensores. Se realizarán pruebas que permitan conocer la respuesta de los sensores ante distintas concentraciones de químico, con el fin de caracterizarlos y así determinar la cantidad ideal a utilizar. Con la cantidad identificada, se pretende realizar pruebas de alcance para conocer la distancia máxima a la que la matriz puede encontrarse de la fuente de olor. Además se podrá definir la necesidad o no de realizar un filtrado en la señal para mejorar el proceso de detección.

4.1. Implementación de una matriz de sensores químicos

Para la integración de una matriz de sensores químicos a la estructura del robot, se utilizaron dos sensores de la marca Fígaro: TGS2600 y TGS2602, los cuales formarán una matriz de sensores de 1x2. Los sensores seleccionados en el presente proyecto de investigación se los escogió en base a la reacción que presentan ante agentes químicos de interés como el alcohol y acetona.

El objetivo inicial del proyecto de investigación, fue utilizar acetona como objeto para la localización, sin embargo debido a dificultades en la obtención del químico en cantidades para pruebas y que la acetona pura como tal es ilegal dentro del país, se realizaron únicamente dos experimentos con la muestra inicial que se poseía. Para el resto de las pruebas, verificaciones y con el fin de validar el funcionamiento de los dispositivos electrónicos se utilizó alcohol en reemplazo de la acetona.

Sensor Químico Fígaro TGS2600:

Este sensor se compone de una capa semiconductor de óxido metálico, la cual en presencia de un gas detectable, la conductividad aumenta, en función de la concentración de gas en el aire. Luego, a través de un circuito eléctrico se convierte esta concentración de gas en una señal de salida (Figaro USA INC., 2005).

El TGS 2600 tiene una alta sensibilidad a bajas concentraciones de contaminantes gaseosos tales como hidrógeno y monóxido de carbono. El sensor puede detectar hidrógeno a un nivel de varias ppm (Figaro USA INC., 2005).

De acuerdo al fabricante (Figaro USA INC., 2005), las aplicaciones principales de este sensor son: filtros de aire, control de la ventilación, monitores de calidad de aire.

En la Figura 29 se puede apreciar el nivel de sensibilidad del sensor, de acuerdo a la concentración del gas, donde R_s representa la resistencia del sensor al ser expuesto a las distintas concentraciones de gas y R_o representa la resistencia del sensor en aire fresco (Figaro USA INC., 2005).

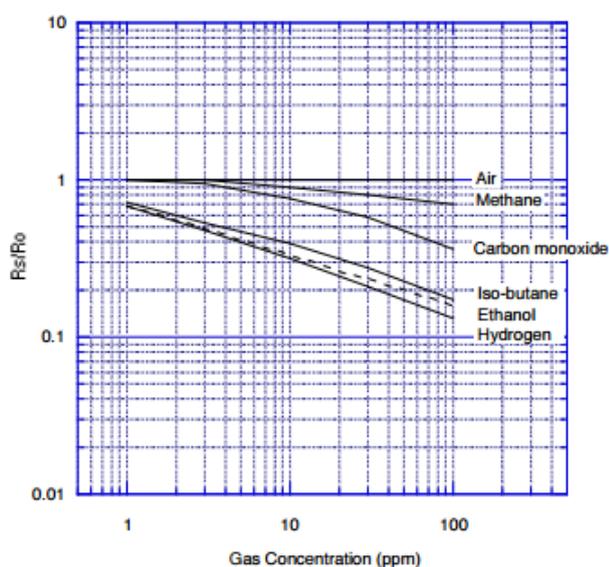


Figura 29. Sensibilidad del sensor TGS 2600.
Fuente: (Figaro USA INC., 2005)

El circuito de acondicionamiento del sensor recomendado por el fabricante se muestra en la Figura 30.

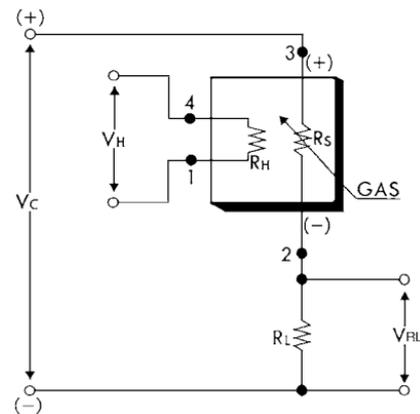


Figura 30. Circuito de conexión TGS2600.
Fuente: (Figaro USA INC., 2005)

El sensor requiere dos entradas de tensión: tensión calentador (V_H) y la tensión de alimentación (V_C). El voltaje del calentador (V_H) tiene como objetivo mantener el elemento de detección a una temperatura específica que es óptima para la detección. La tensión del circuito (V_C) se aplica para permitir la medición de la tensión (V_{out}) a través de una resistencia de carga (R_L) que está conectado en serie con el sensor.

Esta conexión viene lista para conectar en un solo circuito integrado, y fue la utilizada en el desarrollo del presente proyecto. El módulo se lo puede observar en la Figura 31.



Figura 31. Módulo TGS2600.
Fuente: (SainSmart, s.f.)

En la Figura 31, se puede observar que el circuito integrado dispone de pines, dónde los pines de conexión son: G: Conexión a tierra, AO y DO son salidas analógica y digital respectivamente y V es conexión a 3 V.

Sensor Químico Figaro TGS2602:

El TGS 2602 tiene una alta sensibilidad a bajas concentraciones de gases olorosos, como amoníaco y sulfuro de hidrógeno (H₂S) que se generan a partir de materiales de desecho en oficinas y hogares. El sensor también tiene una alta sensibilidad a bajas concentraciones de compuestos orgánicos volátiles tales como tolueno (Figaro, 2008).

De acuerdo al fabricante (Figaro, 2008), las aplicaciones principales de este sensor son: filtros de aire, control de la ventilación, monitores de calidad de aire, monitoreo de olores.

En la Figura 32 se puede apreciar el nivel de sensibilidad del sensor, de acuerdo a la concentración del gas, donde R_s representa la resistencia del sensor al ser expuesto a las distintas concentraciones de gas y R_o representa la resistencia del sensor en aire fresco

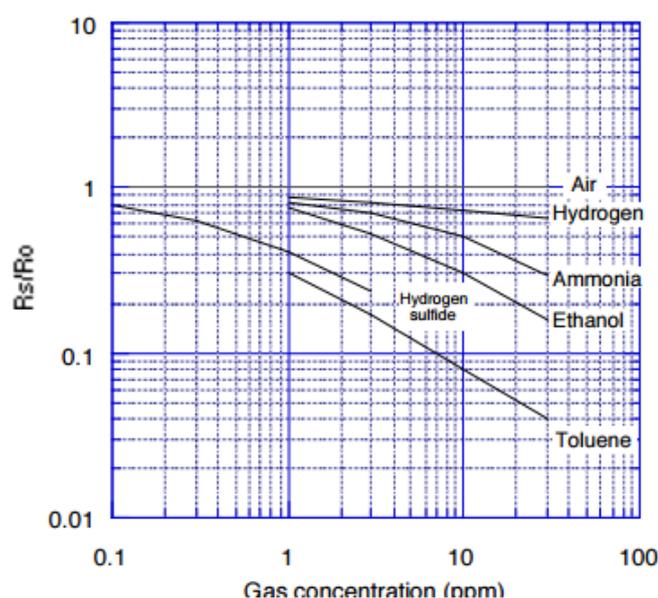


Figura 32. Sensibilidad del sensor TGS 2602.
Fuente: (Figaro, 2008)

El circuito de acondicionamiento del sensor recomendado por el fabricante se muestra en la Figura 33.

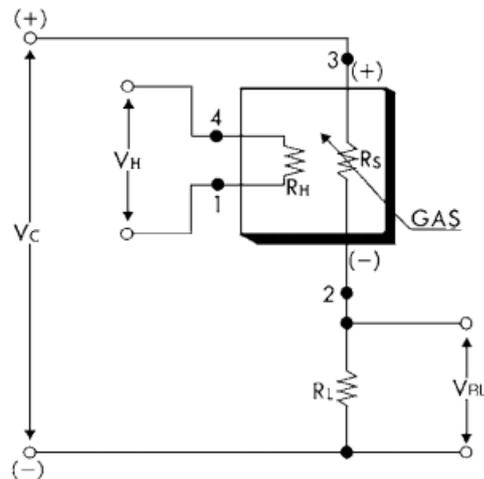


Figura 33. Circuito de conexión TGS 2602.
Fuente: (Figaro, 2008)

Donde el funcionamiento es el mismo mencionado para el sensor TGS 2600. De igual manera, existe un módulo con la conexión del sensor, la cual se muestra en la Figura 34 y fue utilizada en el desarrollo del presente proyecto de investigación.



Figura 34. Módulo TGS 2602.
Fuente: (SainSmart, s.f.)

Al igual que el módulo del TGS 2600, los pines de conexión son: tensión de alimentación (V y G) y salidas digital y analógica (AO y DO).

4.1.1. Acondicionamiento de los sensores TGS 2600 y 2602

Para conocer la sensibilidad real que tiene el sensor ante el agente químico (alcohol), se realizaron dos pruebas. La primera para determinar la cantidad mínima de químico que debe ser utilizado. Una segunda prueba en la cual se determina la máxima distancia a la que el sensor puede detectar o no la presencia del químico en el ambiente. La adquisición de datos se la realizó a través de la plataforma “Arduino” por la facilidad de exportar los datos al software “MATLAB”. El código fuente utilizado para la adquisición se muestra en el Anexo 8, cuyo diagrama de flujo se puede observar en la Figura 35.

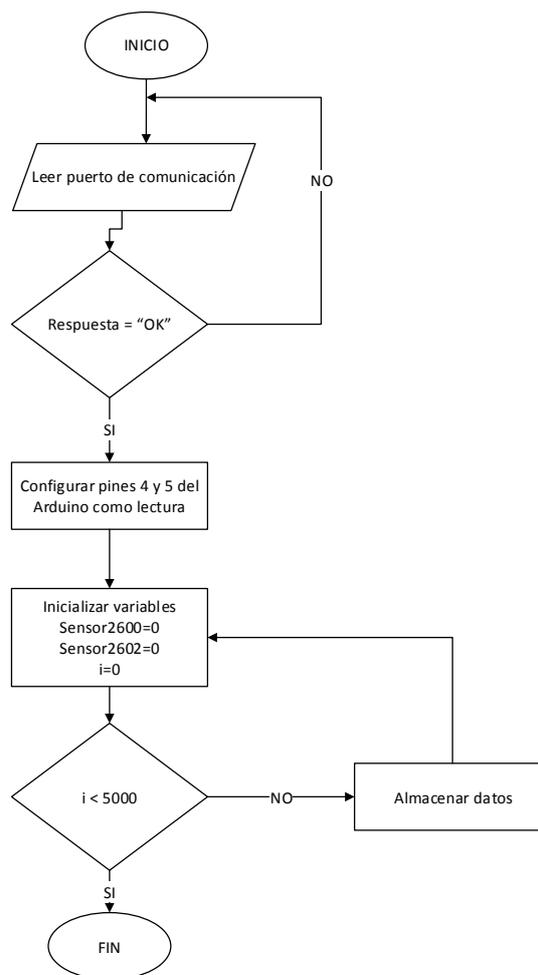


Figura 35. Diagrama de Flujo de la Adquisición de Datos.

Fuente: Autores

Para determinar la línea base de cada sensor, el agente químico se colocó después de cuatro minutos de iniciada la adquisición de datos, para así determinar el valor inicial en cada muestra. El periodo de muestreo es de 0.20 segundos (frecuencia de muestreo de 5 Hz), teniendo, por conveniencia, un total de 5000 muestras.

Primera prueba: Determinar la concentración del químico mínima para la detección.

Para la primera prueba, se ubicó al robot con la matriz de sensores integrada a la estructura (sección 4.2) con una distancia fija de 30 centímetros y colocando distintas cantidades de químico en el recipiente, como se muestra en la Figura 36.

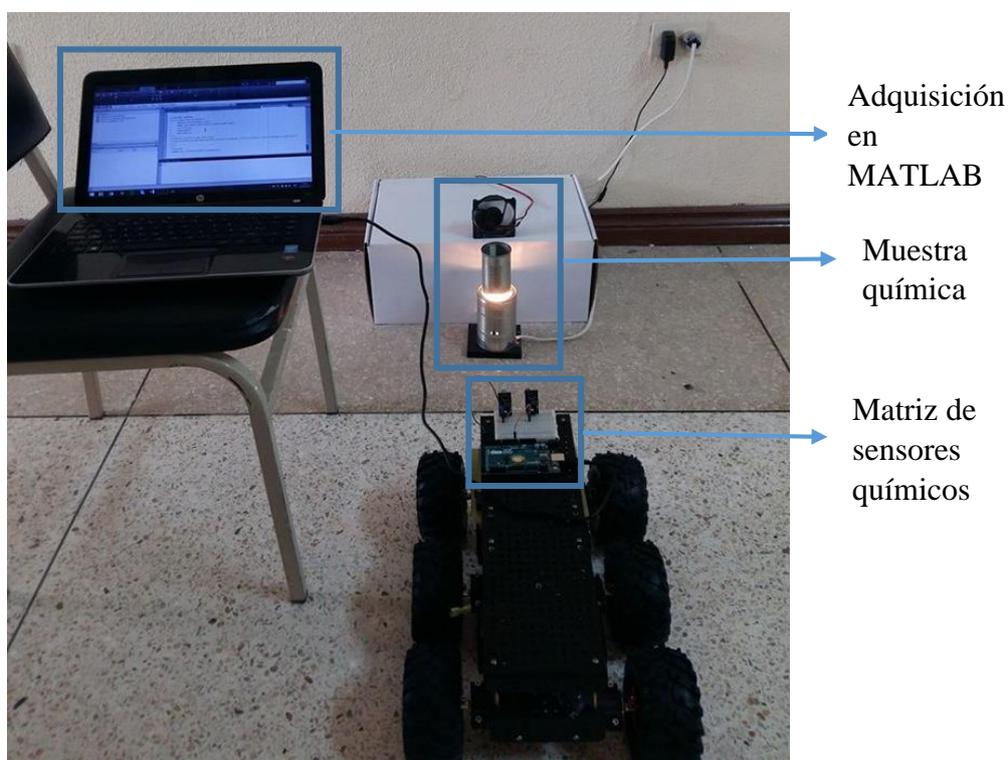


Figura 36. Prueba de cantidad de químico.

Fuente: Autores

Las cantidades de químico que se utilizaron para el experimento son las siguientes: 0ml, 5ml, 10ml, 15ml, 25ml, 30ml, 35ml, 40ml, 45ml, 50ml, obteniendo los siguientes resultados.

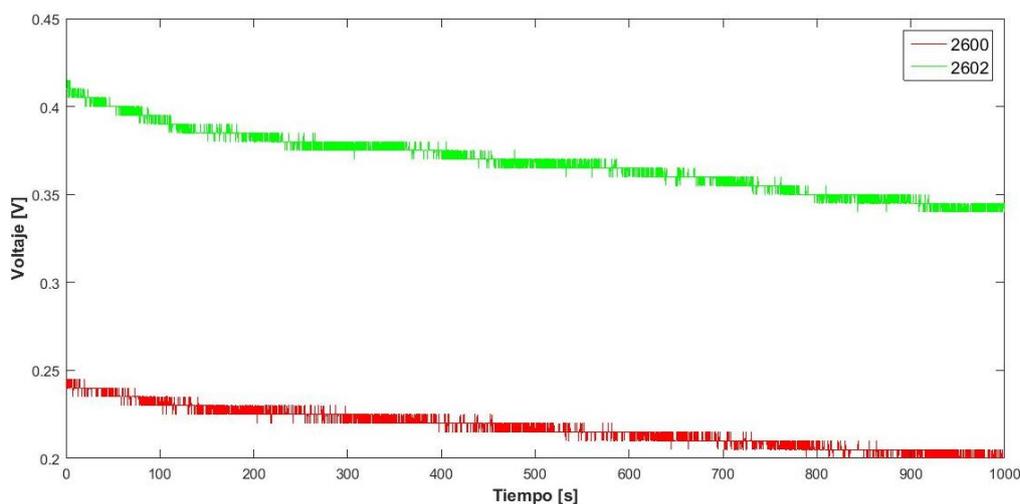


Figura 37. Respuesta de los sensores con 0 ml de químico.

Fuente: Autores

Los valores que se observan en la Figura 37, representan los valores al utilizar cero (0) ml de concentración, lo que se conoce también como la línea de base de los sensores. Para el sensor 2600 se tiene una tensión media de 0.24 V, mientras que para el sensor 2602 se tiene un valor medio de 0.41 V. La línea base no es constante debido a cambios de temperatura y humedad y a contaminantes presentes en el ambiente, por lo que es importante tomar en cuenta la línea base para cada experimento.

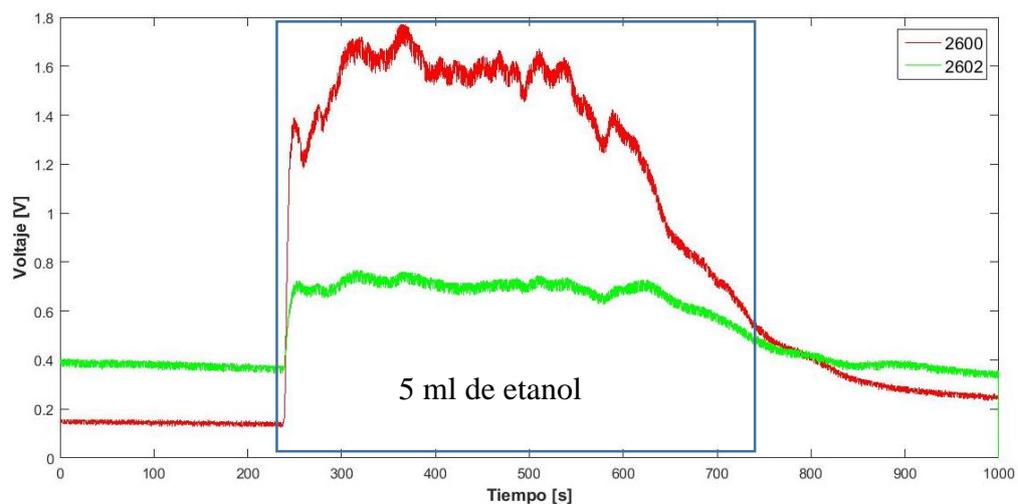


Figura 38. Respuesta de los sensores con 5 ml de químico.
Fuente: Autores

Al transcurrir cuatro minutos del inicio de la adquisición de datos, se colocan 5 ml de alcohol en el recipiente, generando un pico en ambos sensores y se observa como la muestra se empieza a evaporar a partir de los 600 segundos de iniciada la prueba, hasta el punto de llegar a un valor similar al de la línea base, lo cual indica que la muestra se evaporó casi en su totalidad y se diluyó en el ambiente, como se observa en la Figura 38.

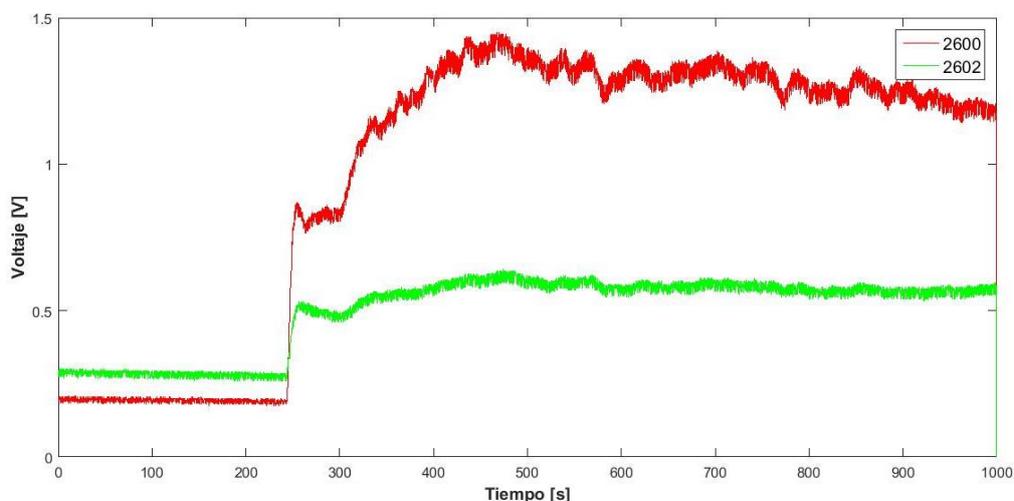
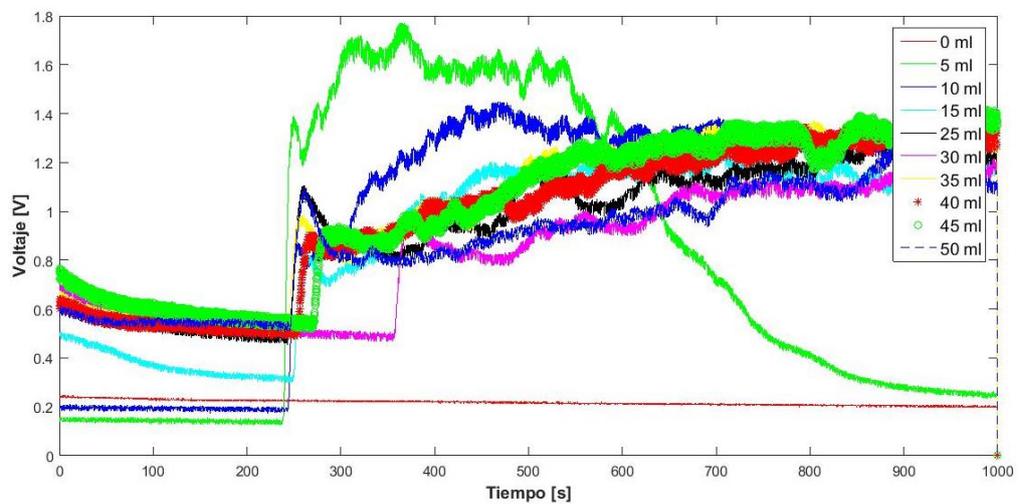


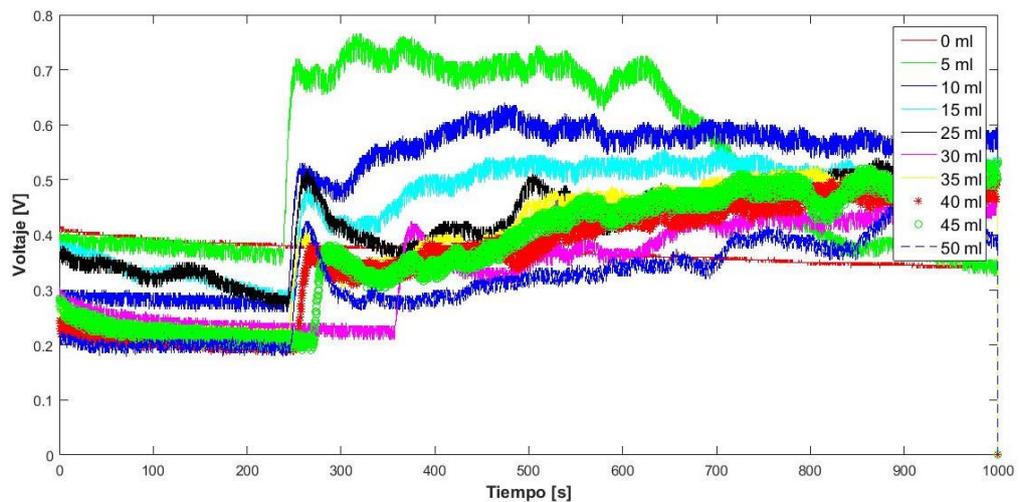
Figura 39. Respuesta de los sensores con 10 ml de químico.
Fuente: Autores

Al transcurrir cuatro minutos del inicio de la adquisición de datos, se colocan 10 ml de alcohol en el recipiente, generando un pico en ambos sensores. En este caso, la muestra no se evapora tan rápidamente como en la muestra anterior (Figura 39), por lo que finalizada la adquisición de datos, aún existe muestra en el recipiente.

El resultado de todas las medidas de los diferentes experimentos se muestra en la Figura 40 (a) para el sensor 2600 y en la Figura 40 (b) para el sensor 2602.



(a)

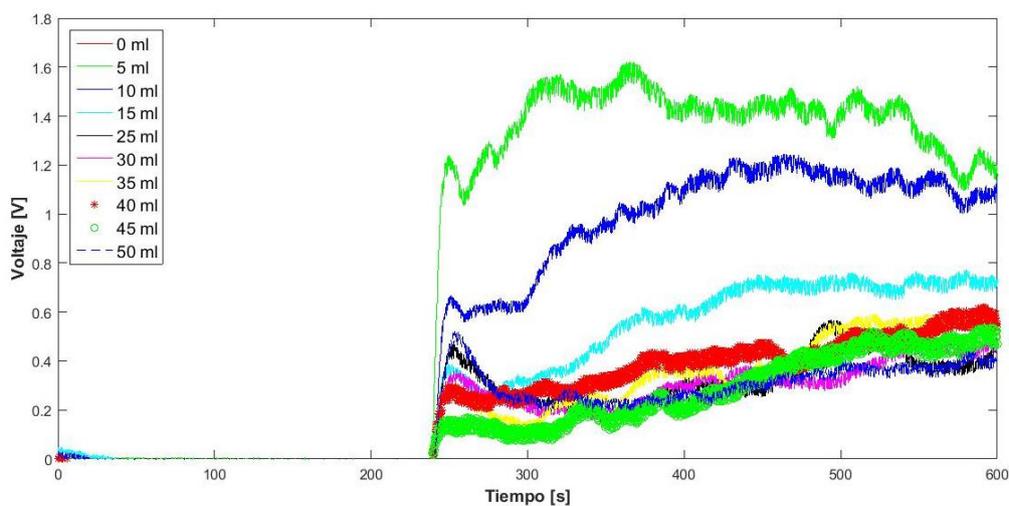


(b)

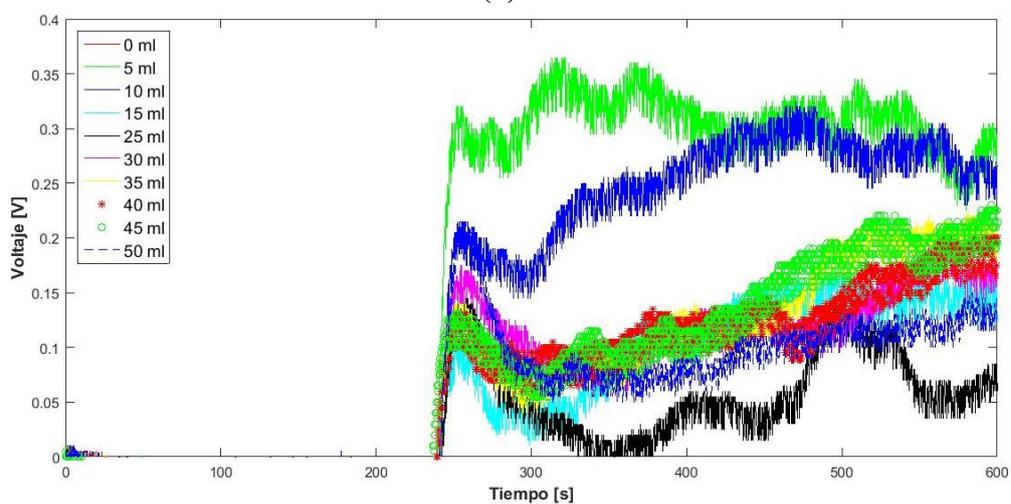
Figura 40. (a) Respuesta del sensor TGS2600, (b) Respuesta del sensor TGS2602.

Fuente: Autores

De los datos obtenidos, se observa que los resultados para cada concentración varían respecto a la línea base (0ml), detectando un efecto memoria de acuerdo a la cantidad de agente químico. Para poder determinar la cantidad a utilizar en el proyecto, es necesario eliminar la línea de base, e igualar el tiempo en el que la muestra es detectada para cada una de las pruebas, de tal manera que se pueda comparar de mejor manera las concentraciones. El resultado de eliminación de la línea base e igualación de tiempos se puede observar en la Figura 41 (a) para el sensor 2600 y en la Figura 41 (b) para el sensor 2602.



(a)



(b)

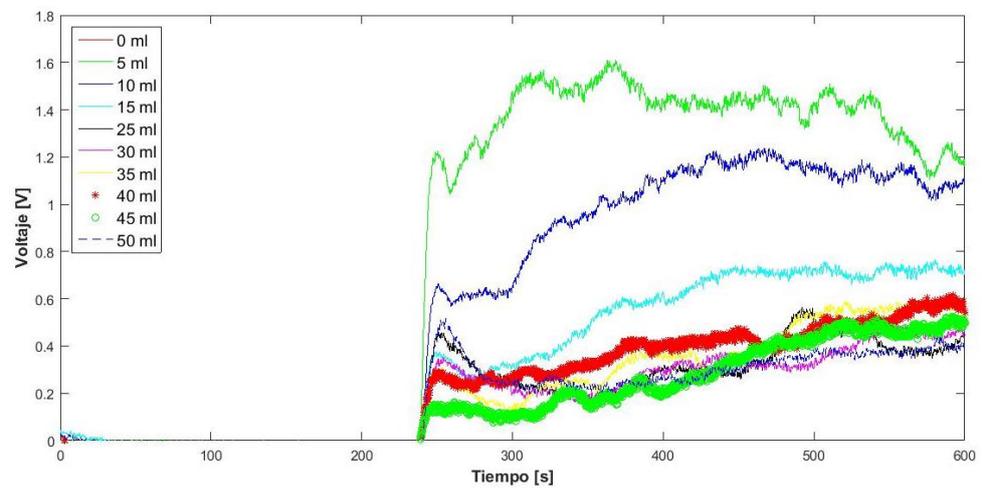
Figura 41. (a) Línea de base eliminada sensor TGS2600. (b) Línea de base eliminada sensor TGS2602.

Fuente: Autores

De la Figura 41 se puede concluir que en el sensor 2600, a partir de la presencia de 25 ml de agente químico en el recipiente se mantiene la medida en el sensor, teniendo mínimas variaciones por condiciones ambientales como cambios en la temperatura y humedad, así como residuos de mediciones previas, mientras que en el sensor 2602, a partir de los 15 ml de agente químico se mantienen los valores. Por lo tanto en base al análisis realizado, se decide utilizar 25 ml como la cantidad base para la medición y pruebas, ya que es la mínima cantidad en la cual los sensores permiten una medición constante de concentración en el ambiente.

Se debe considerar además que los valores adquiridos presentan ruido ambiental y es necesario discriminar valores no deseados sensados durante las pruebas. Para esto se plantea necesario implementar filtros que están fuera del alcance del presente proyecto de investigación.

Un ejemplo de resultados de las pruebas con un filtro implementado en las señales de los sensores se muestra en la Figura 42 (a) para el sensor 2600 y en la Figura 42 (b) para el sensor 2602, donde el filtro implementado es el de media móvil descrito en la teoría, utilizando una ventana de tres muestras.



(a)

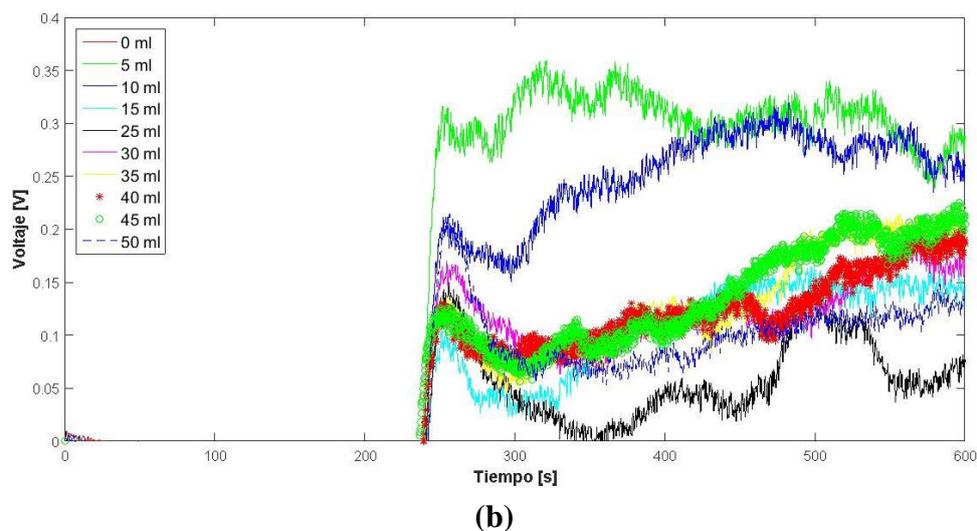


Figura 42. (a) Señal del sensor TGS2600 filtrado, (b) Señal del sensor TGS2602 filtrada.
Fuente: Autores

Una forma de evaluar y comprobar el uso de un filtro de tipo media móvil y la mejora o no de la señal, es realizar el cálculo de la relación señal a ruido, antes y después del filtraje de la señal, para de esta manera determinar si la señal mejorada da mayores ventajas en la identificación del agente químico, y por lo tanto es necesaria la integración de los filtros al algoritmo de localización.

La fórmula de la señal a ruido se muestra en la Ecuación 2 (Miyara & Lahoz, 2003), cuyos parámetros son las potencias de la señal del ruido y la potencia de la señal deseada. El cálculo de la potencia de una señal en tiempo continuo se muestra en la Ecuación 3 (Miyara & Lahoz, 2003), cuya señal $x(t)$, representa la sumatoria de todos los valores de la señal.

Ecuación 2. Relación señal a ruido

$$SNR = \frac{\text{Potencia señal}}{\text{Potencia ruido}}$$

Ecuación 3. Potencia de una señal en tiempo continuo

$$P[x(t)]_{t_1-t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |x(t)|^2 dt$$

Para el cálculo de la señal a ruido, se utilizó la medida de la señal a 25 ml cuando el filtro no es implementado. Para la señal sin filtrar, se obtienen los siguientes resultados:

Sensor 2600:

$$SNR_{dB} = 5,20 \text{ dB}$$

Sensor 2602:

$$SNR_{dB} = 2,40 \text{ dB}$$

Una vez que el filtro es implementado, se calcula nuevamente la relación señal a ruido para determinar si la mejora que presenta la señal es consistente como para integrarla al algoritmo de localización, obteniendo los siguientes resultados:

Sensor 2600:

$$SNR_{dB} = 31,17 \text{ dB}$$

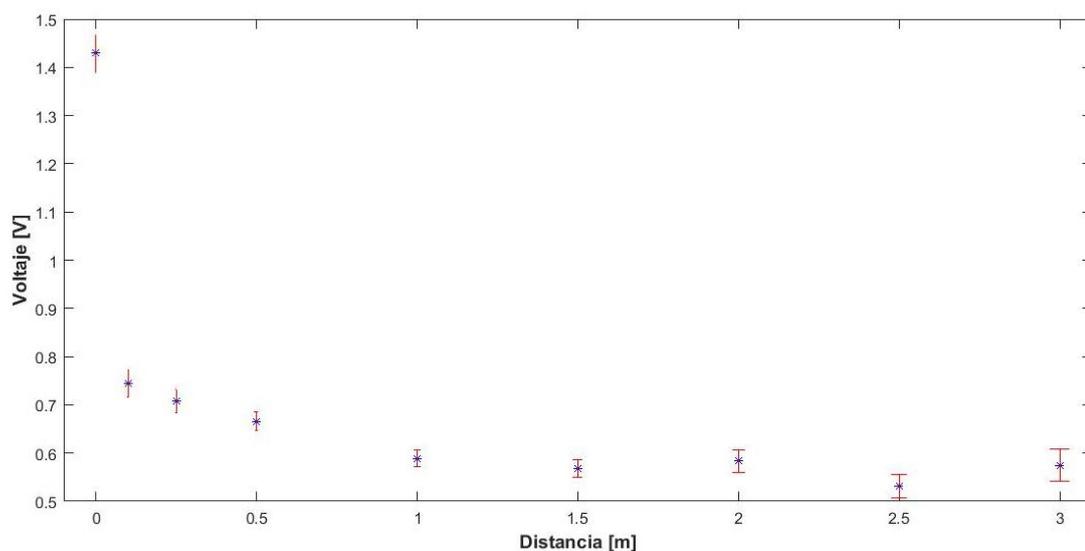
Sensor 2602:

$$SNR_{dB} = 2,42 \text{ dB}$$

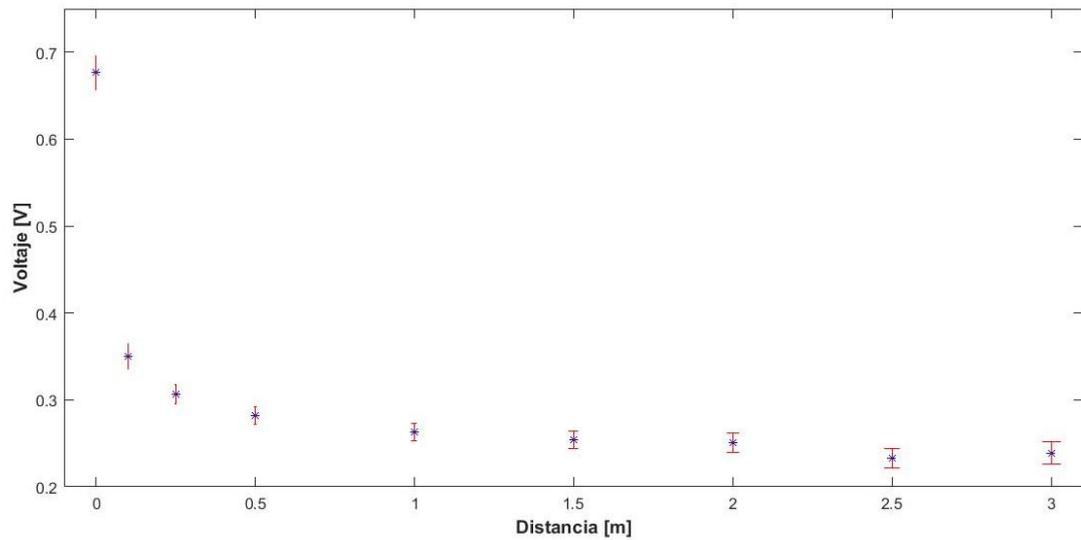
Al comparar los resultados de la relación señal a ruido antes y después de la implementación del filtro en el algoritmo. Se observa que existe una mejora significativa en el sensor 2600 debido a que la señal a ruido se eleva en 25,97 dB, haciéndose necesaria la implementación del filtro. Por otra parte, el sensor 2602 presenta una mejora mínima de 0,02 dB, por lo que la integración o no del filtro puede ser despreciable. El filtro no fue implementado en el presente proyecto de investigación debido a que el algoritmo trabaja con la mayor concentración, independientemente del químico utilizado.

Segunda Prueba: Determinación de la distancia máxima

Una vez determinada la concentración para las pruebas, para la segunda prueba, se fijó la cantidad de agente químico a 25ml mientras la distancia entre el robot y la fuente de aroma varía de acuerdo a los siguientes valores: 0cm, 10cm, 25cm, 50cm, 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m. los resultados de las pruebas pueden observarse en la Figura 43, el punto en color azul y la línea en color rojo de la Figura 43 (a) y Figura 43 (b) representan el valor medio y la desviación estándar respectivamente de cada sensor. Al comparar todas las medidas, se determina que la distancia máxima de sensado es de un metro, mayor a esta distancia, la lectura de los sensores no puede ser discriminada debido a que las medidas son similares para estas distancias.



(a)



(b)

Figura 43. (a) Valor medio y desviación estándar del sensor TGS2600, (b) Valor medio y desviación estándar del sensor TGS2602.

Fuente: Autores

4.2. Montaje de la matriz de sensores químicos en el robot

Con el fin de que la matriz de sensores químicos sea móvil, es decir, permita la medición en tres posiciones distintas, se la ubicó en la parte superior de la estructura del robot. El esquema de la matriz de sensores integrada al robot se muestra en la Figura 44. El esquemático de la matriz de sensores consta de 4 partes fundamentales: el microcontrolador, la matriz de sensores, servo motor y un bus de comunicación:

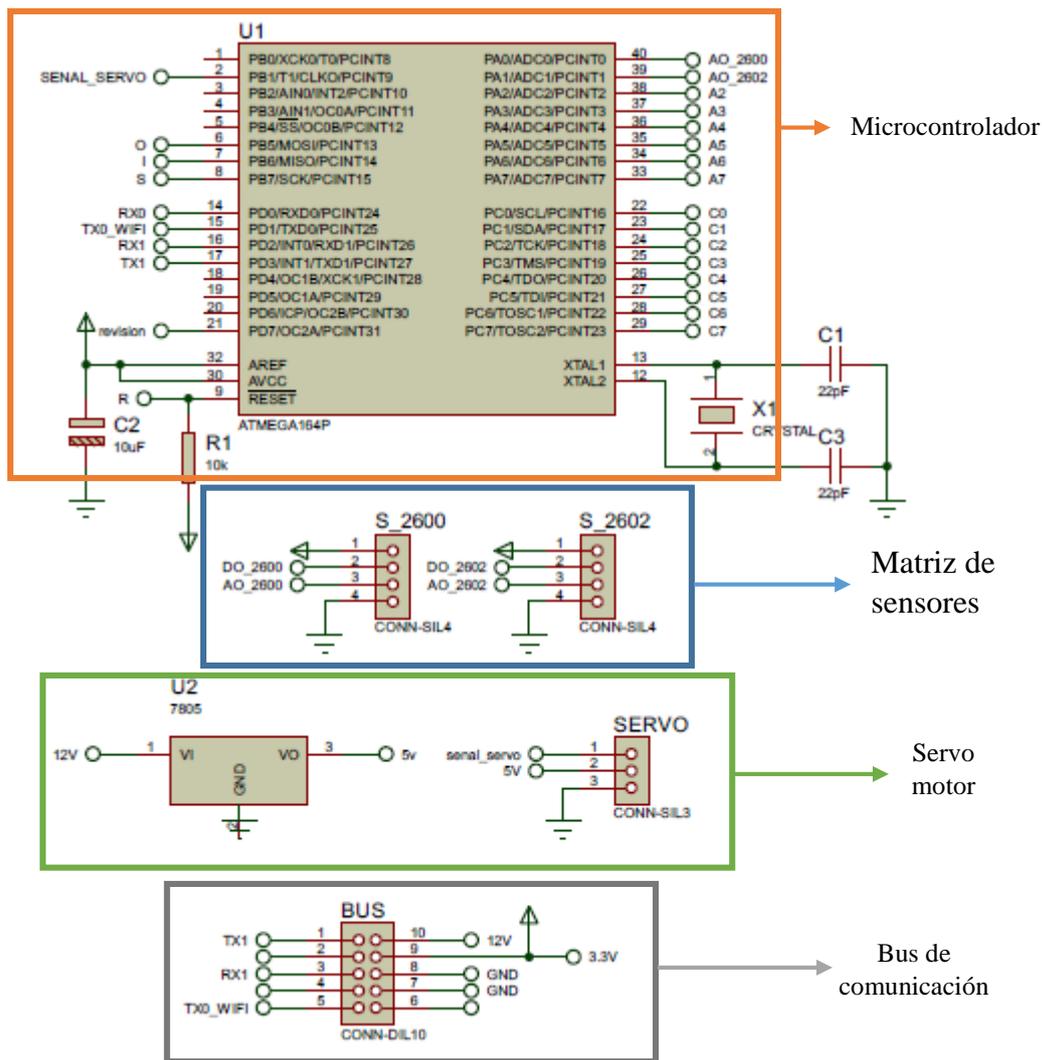


Figura 44. Esquemático de la Matriz de Sensores.

Fuente: Autores

El microcontrolador se comunica por transmisión serial con el módulo Wi-Fi, y envía los comandos AT para su configuración. Envía también los valores que los sensores químicos detectan y el ángulo de movimiento del servo motor. Por otra parte, este microcontrolador recibe la confirmación de los comandos AT de configuración por parte del microcontrolador de la etapa de potencia y la señal de inicio de sensado. El sentido de envío y recepción de datos se muestra en la Figura 45. El microcontrolador fue programado en lenguaje Visual a través del Software BASCOM AVR. La matriz de sensores, captura los datos de la cantidad de químico presente en el ambiente, estos datos se almacenan en el microcontrolador y son enviados.

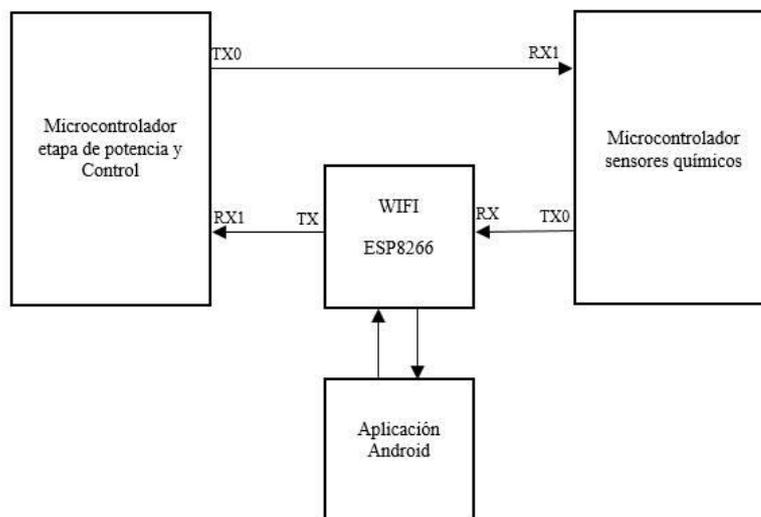


Figura 45. Esquema de comunicación.
Fuente: Autores

La matriz de sensores captura en tres posiciones distintas, diferentes medidas. El servo motor es el encargado de ubicar la matriz de sensores en distintos lugares para determinar el movimiento del robot. Los ángulos en los que se posiciona el servo motor son 45° , 90° y 135° , siendo 90° el frente del robot (ver Figura 54). Finalmente el bus de datos es el encargado de comunicar al microcontrolador de la etapa de potencia con el microcontrolador de la matriz de sensores. Este bus posee también la alimentación del circuito. Esta explicación se la detalla en el diagrama de flujo de la Figura 46, y el código fuente utilizado para programar la matriz de sensores químicos se muestra en el Anexo 9.

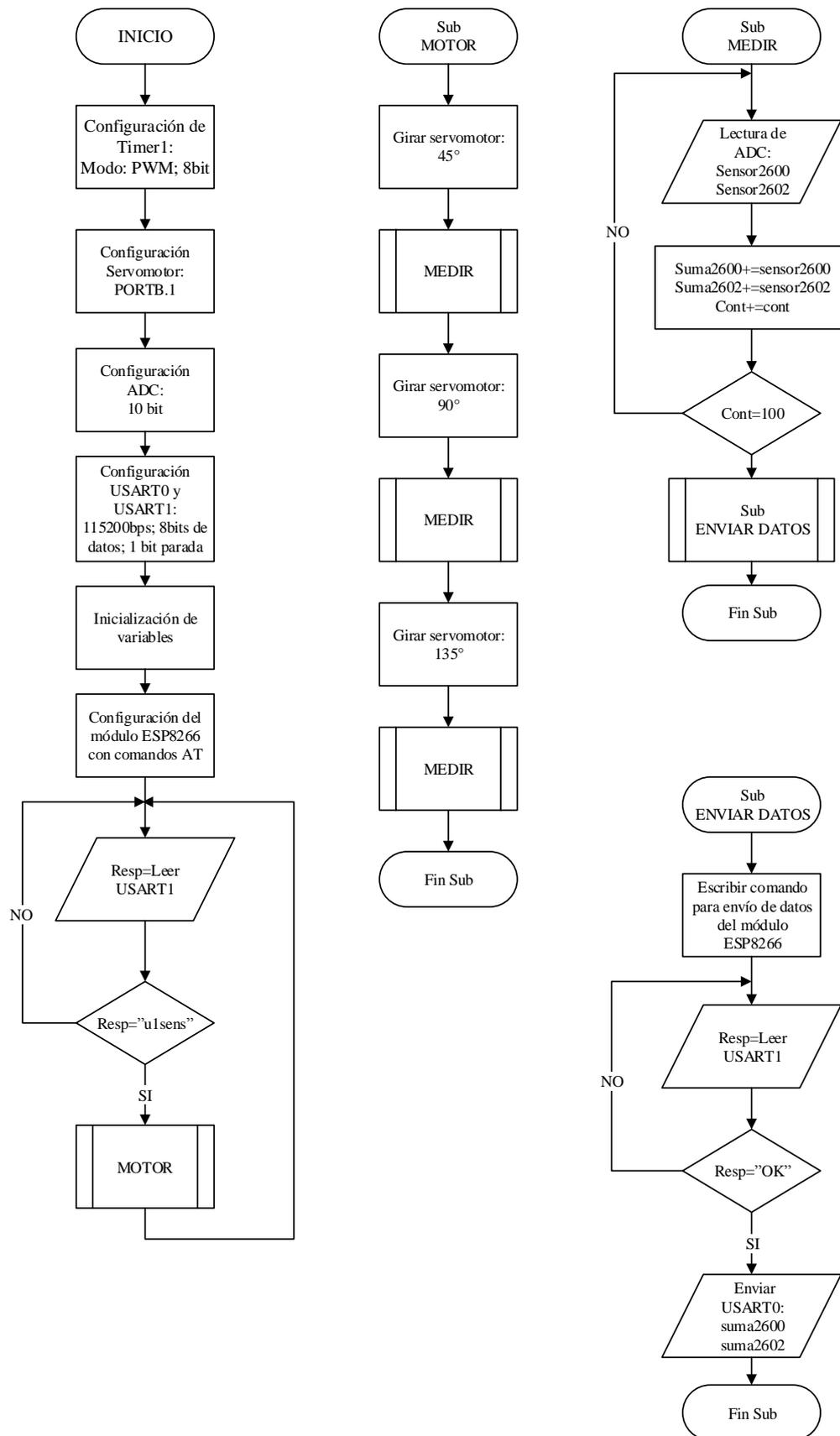


Figura 46. Diagrama de Flujo de la matriz de sensores.
Fuente: Autores

El montaje de la matriz de sensores a la estructura mecánica del robot se muestra en la Figura 47.

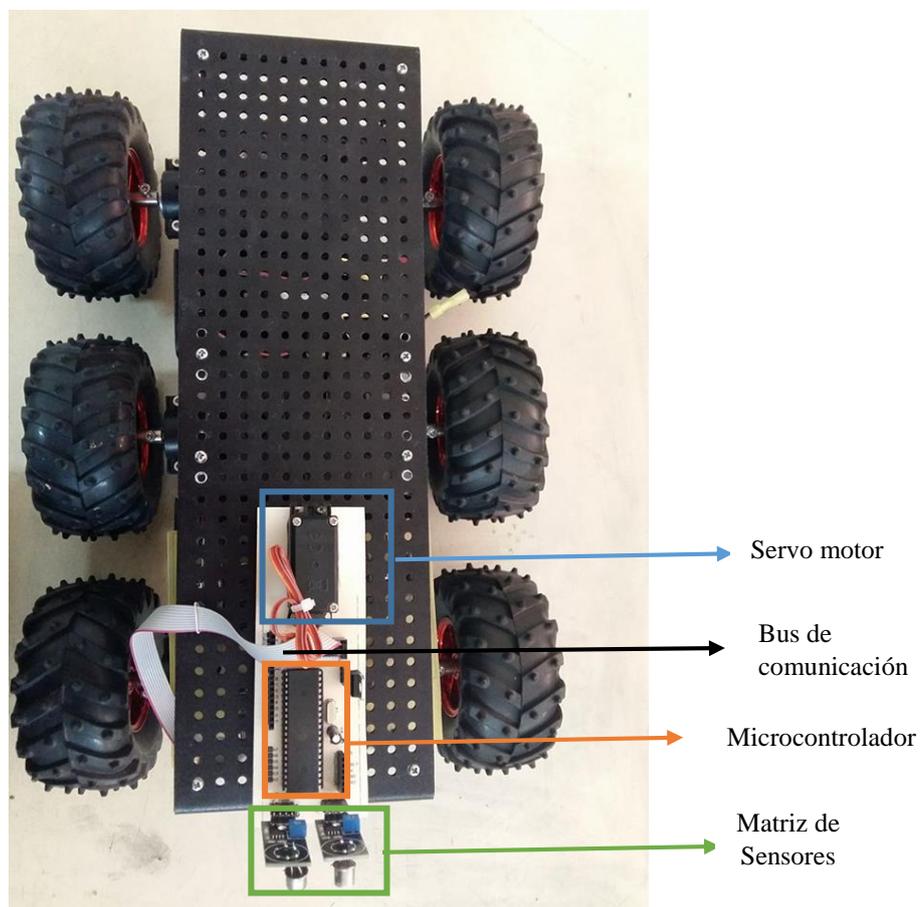


Figura 47. Matriz de sensores integrada al robot.
Fuente: Autores

Al finalizar el montaje de la matriz de sensores, se concluye que la ubicación de la matriz de sensores en la parte superior de la estructura mecánica, permite realizar las medidas en las tres posiciones indicadas, además el movimiento del servomotor no afecta a los valores medidos por parte de los sensores, ya que la medición se realiza cuando el motor está detenido. Con el fin de evitar ruido generado por el movimiento del servomotor, se utilizó un bus de comunicación que comunica el circuito impreso de potencia con el circuito impreso de sensores.

CAPÍTULO V

DESARROLLO DEL ALGORITMO DE LOCALIZACIÓN

Para este capítulo se detalla el desarrollo del algoritmo de localización necesario para llevar a cabo el proyecto de investigación, el algoritmo está basado en la intensidad del aroma en el ambiente para la toma de decisión del robot, a través de la generación de un mapa de dispersión dentro del ambiente controlado.

5.1. Generación del mapa de dispersión del químico en el ambiente controlado

Para obtener el mapa de dispersión de las dos sustancias químicas de interés se llevó a cabo dos experimentos dentro del área controlada: el primero pretende simular una situación real sin ventilador, mientras que el segundo pretende realizar la misma simulación, con ventilador para favorecer la detección del olor.

El entorno controlado de trabajo tiene un área de 3m x 3m, el mismo que se dividió en nueve (9) cuadrantes iguales, tal como se observa en la Figura 48. La fuente de olor con las sustancias de interés se colocó en el cuadrante VIII, y el robot se ubicó en los cuadrantes I, II y III de forma aleatoria. Para los dos experimentos se realizó la toma de 500 muestras por cada cuadrante, repitiendo esta adquisición 3 veces. La adquisición se la realizó utilizando la tarjeta de desarrollo Arduino, con un periodo de muestreo de 0.5 segundos y el Software Matlab en su versión “R2015a”, utilizando, para un mejor entendimiento del proceso de adquisición el diagrama de flujo y código fuente implementado se detalla en el Anexo 10.

Para generar el mapa de dispersión, inicialmente se evapora una muestra de la sustancia de interés, para las pruebas con Etanol se utiliza 25ml y para las pruebas con Acetona se usa 1ml de acetona combinado con 1ml de agua, mientras tanto el robot permanece inmóvil sin realizar alguna adquisición de muestras por un tiempo de dos minutos, este tiempo tiene como objetivo esperar a que el olor se disperse por el

ambiente, una vez terminado este periodo de tiempo se inicia la adquisición de datos por un espacio de cuatro minutos en cada cuadrante, recogiendo un total de 500 datos de muestras por cada uno.

El movimiento del robot para la adquisición de datos se explica en la Figura 48, de tal manera que si el robot empieza en el cuadrante I, el recorrido será I, IV y VII.

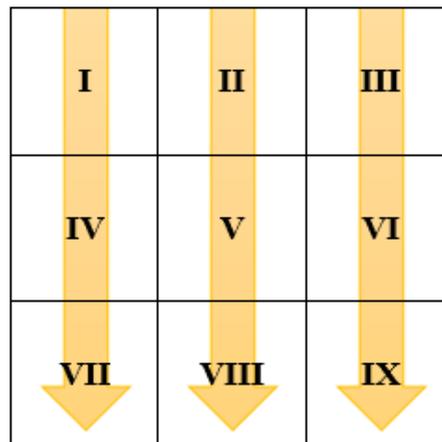


Figura 48. Modo de adquisición de datos.
Fuente: Autores

Para generar un mapa de dispersión único por cada experimento, se obtienen los valores máximos de cada cuadrante con sus 3 repeticiones. Los valores máximos son promediados obteniendo de esta forma una matriz de 3 x 3, tal como se observa en la Figura 49 (a). Con el fin de obtener una mayor resolución del mapa de dispersión a cada cuadrante de la matriz se lo divide nuevamente en matrices más pequeñas de 4x4, obteniendo una matriz resultante de 12x12, como se observa en la Figura 49 (b).

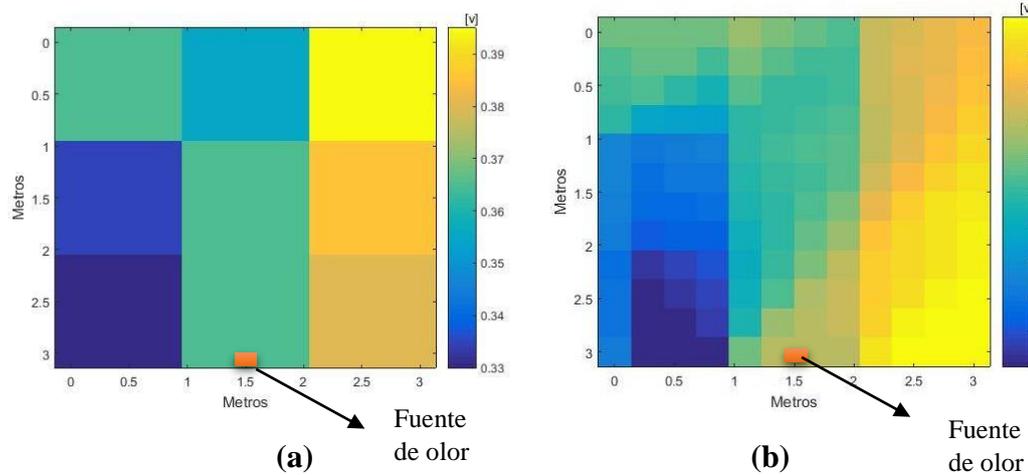


Figura 49. (a) Resolución de cuadrantes matriz 3x3. (b) Resolución de cuadrantes matriz 12x12.

Fuente: Autores

5.1.1. Mapa de dispersión con acetona

La matriz de dispersión final obtenida de la acetona sin ventilador se la puede observar en la Figura 50 (a) para el sensor 2600 y en la Figura 50 (b) para el sensor 2602. En estas figuras se puede apreciar que la máxima concentración de acetona se agrupa los cuadrantes III, VI y IX, a pesar de tener la fuente de olor en el cuadrante VIII, esto puede ser debido a corrientes de aire indeseadas dentro del ambiente controlado.

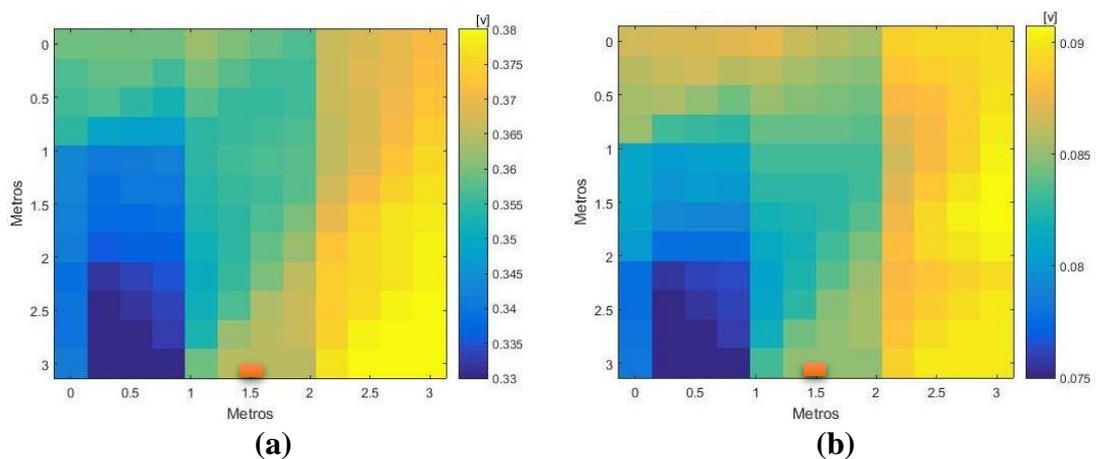


Figura 50. (a) Dispersión de acetona sin ventilador, Sensor 2600. (b) Dispersión de acetona sin ventilador, Sensor 2602.

Fuente: autores

Con el fin de obtener una matriz de dispersión donde la mayor concentración de químico se ubique en el cuadrante donde se encuentra la muestra de olor, se hizo uso de un ventilador. La dispersión obtenida se la puede observar en la Figura 51 (a) para el sensor 2600 y en la Figura 51 (b) para el sensor 2602. Dónde se puede observar, que para el sensor 2600, la mayor concentración de olor se ubica en el cuadrante III, mientras que para el sensor 2602, se ubica en el cuadrante I.

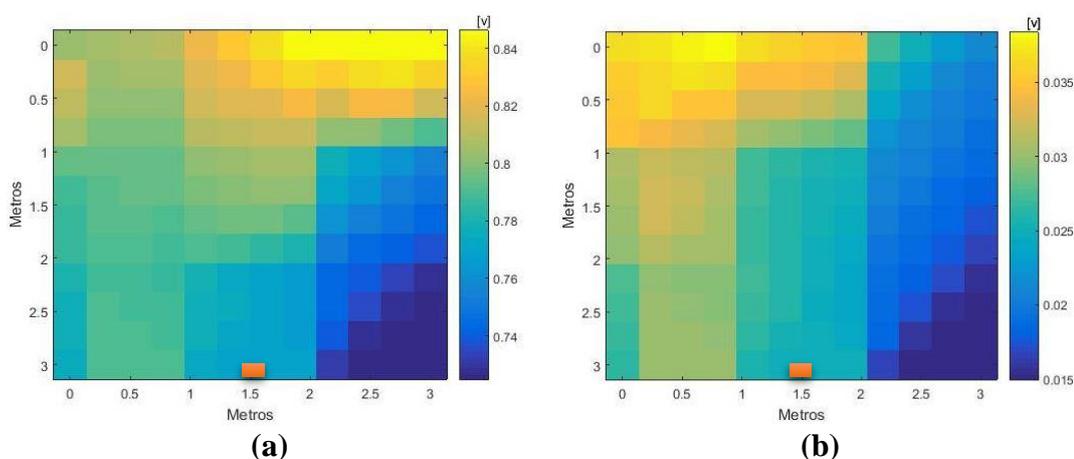


Figura 51. (a) Dispersión de acetona con ventilador, Sensor 2600. (b) Dispersión del químico con ventilador, Sensor 2602.

Fuente: Autores

En base a los resultados obtenidos y después de este primer análisis, se puede concluir que el mapa de dispersión de la acetona no va a permitir la ubicación exacta de la fuente de olor. Esto puede ser debido a que es un químico volátil y se evapora con mucha rapidez, impidiendo una dispersión uniforme. La inclusión de un ventilador dentro del experimento aparentemente no favorece la localización de la fuente, por la dispersión que realiza, de hecho se aprecia que el experimento sin ventilador se aproxima más a la ubicación real de la fuente de olor.

5.1.2. Mapa de dispersión con etanol (alcohol)

Para generar la matriz de dispersión final de Etanol sin ventilador e identificar el cuadrante donde se colocó la muestra, es necesario realizar el experimento de manera similar a lo realizado con la Acetona, los resultados se los puede observar en la Figura 52 (a) para el sensor 2600 y en la Figura 52 (b) para el sensor 2602. Dónde la mayor concentración de químico se encuentra en el cuadrante VII y no en el VIII como debía esperarse, esto puede ser atribuido nuevamente a corrientes de aire externas o generadas por movimiento del personal de investigación. También se observa que los dos mapas de dispersión de los dos sensores son similares cambiando el factor de escala de 4.

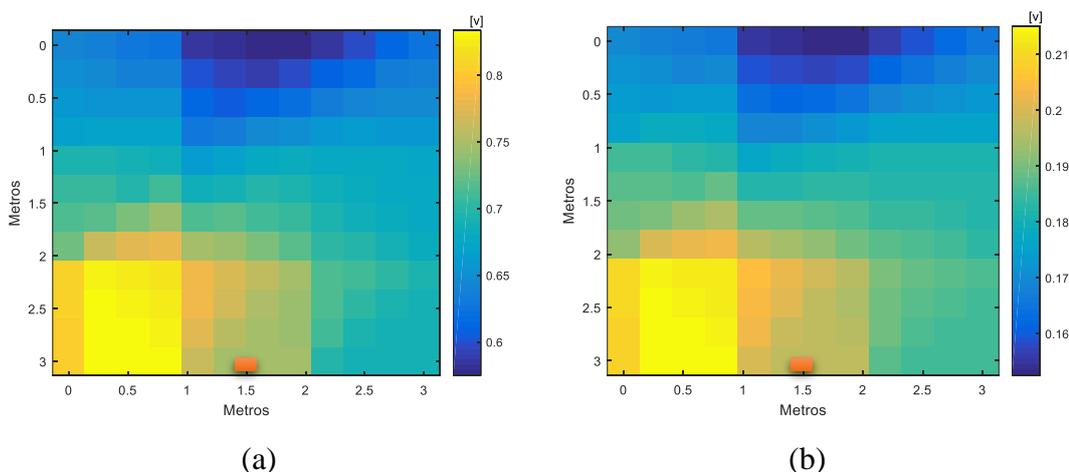


Figura 52. (a) Dispersión de etanol sin ventilador, Sensor 2600. (b) Dispersión de etanol sin ventilador, Sensor 2602.

Fuente: autores

Al igual que la prueba con acetona, se pretende que la mayor concentración de químico se ubique en el cuadrante VIII, donde se encuentra la fuente de olor, por ello nuevamente se utiliza un ventilador. Los resultados de la matriz de dispersión final de etanol y con el uso de un ventilador se puede observar en la Figura 53 (a) para el sensor 2600 y en la Figura 53 (b) para el sensor 2602.

Dónde la mayor concentración de químico se evidencia en el mismo cuadrante donde se ubica la muestra de olor.

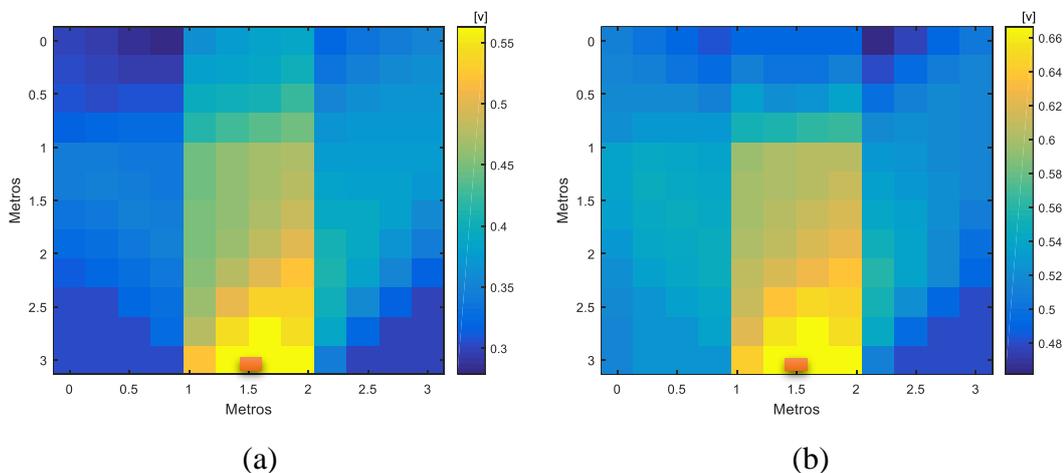


Figura 53. (a)Dispersión de etanol con ventilador, Sensor 2600. (b) Dispersión de etanol con ventilador, Sensor 2602.

Fuente: Autores

Con los resultados obtenidos y luego del análisis, se puede concluir que con el uso de un ventilador favorece la dispersión del etanol, obteniendo la ubicación real de la fuente de olor, debido a que se evidencia la mayor concentración de datos obtenidos en el mismo cuadrante que la fuente de olor.

5.2. Simulación de trayectoria del algoritmo de localización.

Con los resultados del mapa de dispersión final se procede a simular el movimiento del robot, donde este debe medir la intensidad de olor en tres ángulos (45° , 90° , 135°). El algoritmo desarrollado realiza un promedio de la intensidad de olor en los cuadrantes que se encuentran en cada uno de los ángulos mencionados anteriormente, el robot se moverá y avanzará en la dirección donde se detectó mayor concentración de olor, este se detendrá cuando localice un umbral máximo de olor definido, que en simulación es el valor máximo de cada mapa de dispersión, como se muestra en la

Figura 54, posicionándose a una distancia máxima de 0,5 metros. El robot siempre se dirige hacia adelante, impidiendo detectar valores que se encuentren detrás de este.

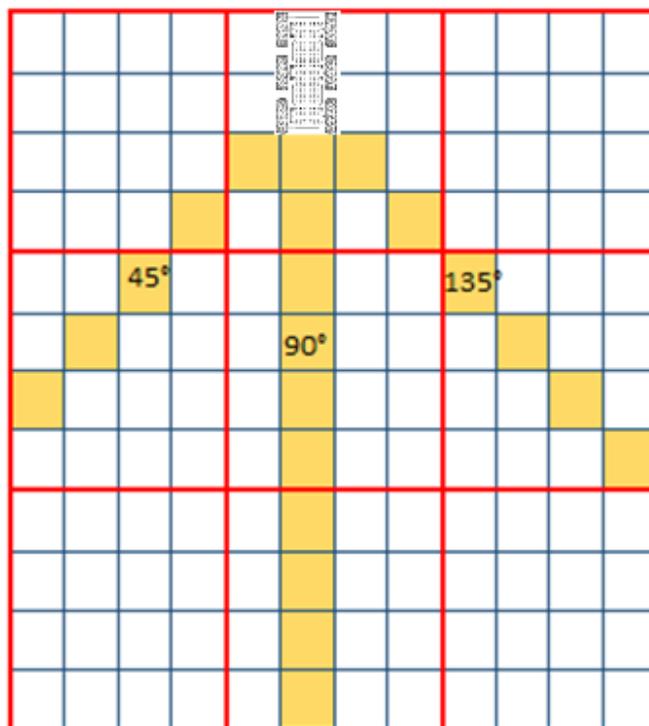


Figura 54. Simulación del Cálculo de Trayectoria.
Fuente: Autores.

El diagrama de flujo del cálculo de la trayectoria del robot se muestra en la Figura 55.

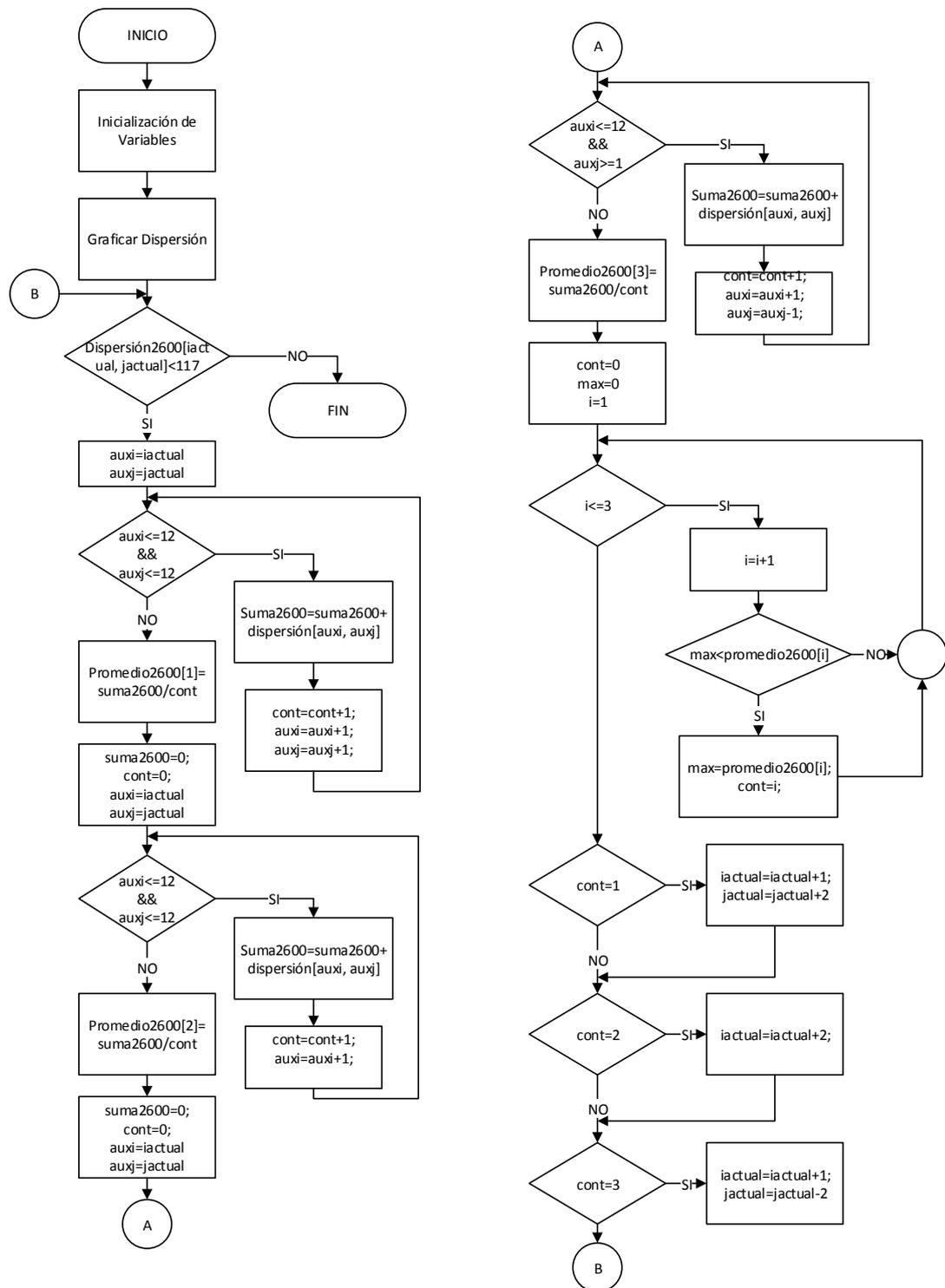


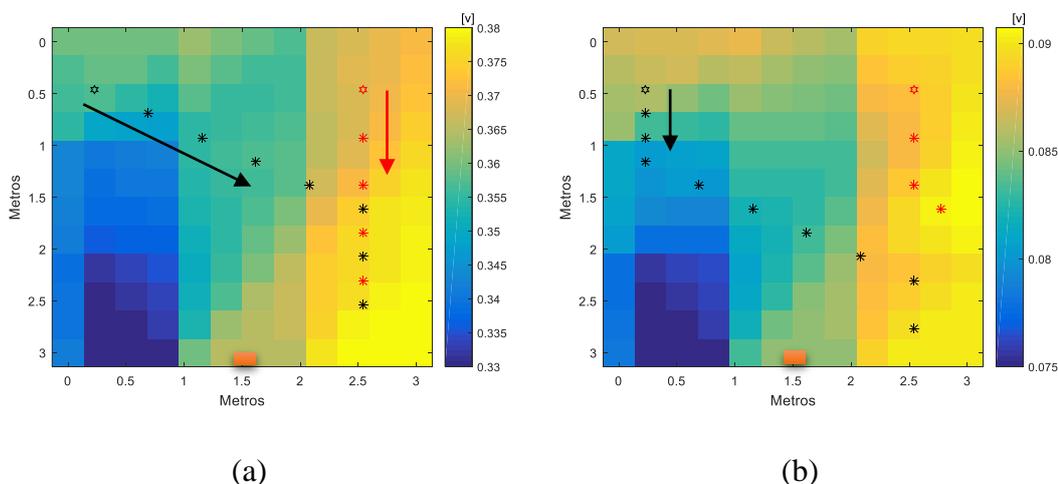
Figura 55. Diagrama de Flujo del Cálculo de Trayectoria
Fuente: Autores

Para comprobar la respuesta del algoritmo de localización desarrollado, se probó simulado dos entornos: sin ventilador (ver Figura 50) para acetona y (ver Figura 52)

para etanol y con ventilador (ver Figura 51) para acetona y (ver Figura 53) para etanol, es importante mencionar que se debe asignar la posición inicial del robot en alguno de los cuadrantes que para efectos de simulación son I y III, para observar el funcionamiento del algoritmo de localización.

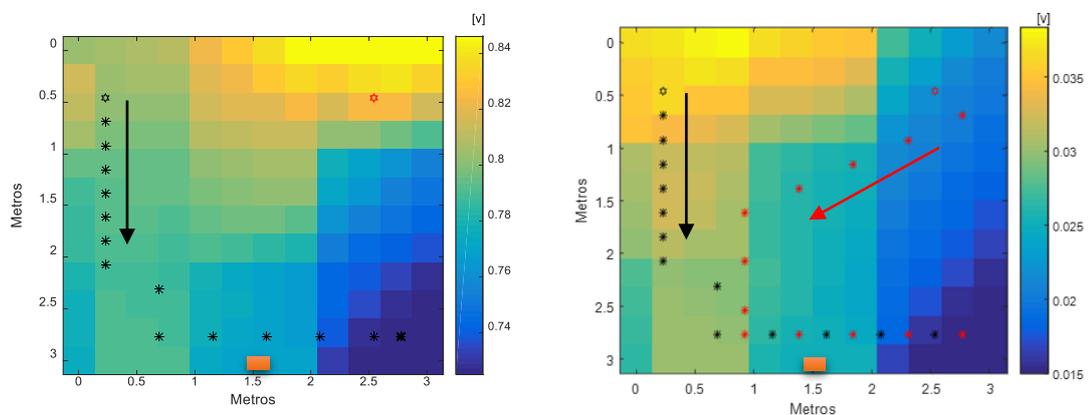
5.2.1. Simulación del algoritmo de localización con acetona

La Figura 56 muestra la simulación del movimiento del robot hasta encontrar el origen de la fuente, para ello se utilizaron puntos de inicio distintos generando dos trayectorias diferentes indicadas en color negro y rojo. El resultado es una trayectoria distinta para cada uno de los sensores, donde la dispersión medida por cada uno de ellos es similar. La mayor concentración del olor identificada por el sensor 2600 se ubica en el cuadrante IX, por lo que de la diferencia con la ubicación de la fuente se establece que existe un error de un metro en la localización de la fuente de olor. Mientras, el sensor 2602, al iniciar desde un punto distinto, no logra identificar la fuente, por lo que su movimiento se detiene después de realizar cuatro movimientos, deteniéndose a una distancia de 2,5 metros de la fuente ya que en ese punto el mapa de dispersión contiene la concentración máxima.



(a) (b)
Figura 56. (a) Movimiento sin ventilador, Sensor 2600. (b) Movimiento sin ventilador, Sensor 2602
Fuente: Autores

La Figura 57 muestra las trayectorias obtenidas por el algoritmo de localización en el mapa de dispersión de acetona con ventilador. En este caso, la fuente de olor no es detectada, debido a que la máxima concentración en el mapa de dispersión se encuentra en la parte posterior del punto de inicio del robot. El robot realiza siempre un movimiento hacia el frente, por lo que al no tener la mayor concentración de químico en los cuadrantes inferiores (IV, V, VI, VII, VIII, y IX) impide que el umbral máximo sea detectado para detener la localización. Es por esta razón, que existe un error alto al momento de localizar la fuente de olor. Para el sensor 2600 existe un error de 1,5 metros para la trayectoria 1 (color negro) y para la segunda trayectoria (color rojo) existe un error de 3 metros. Por otra parte, el sensor 2602 presenta un error de 1,5 metros para las dos trayectorias, por lo que la utilización de un ventilador no permite la detección de la fuente de olor.



(a) (b)
Figura 57. (a) Movimiento con ventilador, Sensor 2600. (b) Movimiento con ventilador, Sensor 2602
Fuente: Autores

5.2.2. Simulación del algoritmo de localización con etanol

En la Figura 58 se puede observar la simulación del movimiento del robot, hasta encontrar el origen de la fuente de olor sin el uso de ventilador para el

sensor 2600. En la Figura 58 (b) se observa la trayectoria del robot hacia la fuente de olor utilizando el sensor 2602, desde dos puntos de inicio distintos, una de ellas mostrada en color negro, y otra en color rojo. En este caso, la mayor concentración del olor se ubica en el cuadrante VII, por lo que el robot se dirige hacia este cuadrante, deteniéndose a 1 metro de la fuente de olor.

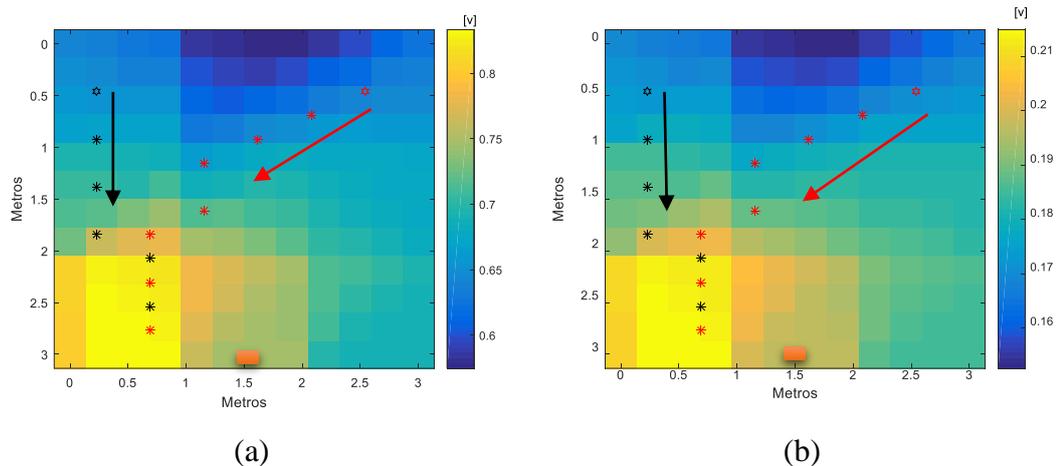


Figura 58. (a) Movimiento sin ventilador, Sensor 2600. (b) Movimiento sin ventilador, Sensor 2602
Fuente: Autores

La segunda prueba, se realiza usando un ventilador que debe facilitar la detección de la fuente de olor. En la Figura 59 se muestran las trayectorias realizadas, de igual manera iniciando en dos ubicaciones diferentes. Una vez iniciada la prueba con el uso de un ventilador, la fuente olor es detectada fácilmente, deteniéndose el robot a una distancia de 0,2 metros. Esto indica que la inserción de un ventilador ayuda a la dispersión de olor del Etanol, permitiendo que la fuente sea detectada. Al iniciar el cálculo de la trayectoria desde un punto distinto, en rojo, se verifica que la fuente de olor es detectada, por lo que el algoritmo de localización cumple su objetivo.

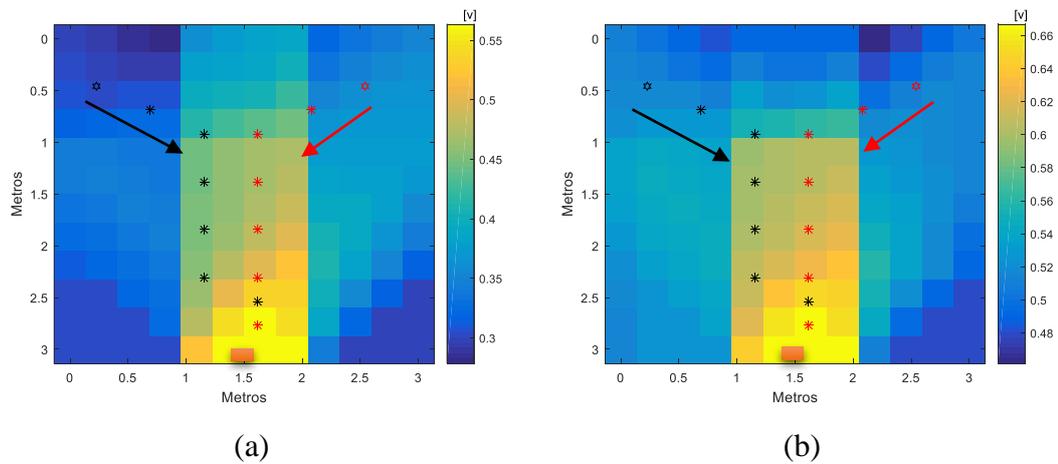


Figura 59. (a) Movimiento con ventilador, Sensor 2600. (b) Movimiento con ventilador, Sensor 2602.

Fuente: Autores

Se puede deducir entonces que el algoritmo de localización detecta concentraciones máximas en el entorno de trabajo controlado, tomando en cuenta que si la concentración máxima se encuentra detrás del robot esta no será detectada y por lo tanto ignorada. Además las corrientes externas de aire por diferentes causas alteran la dispersión del olor dentro del ambiente controlado, ubicando la mayor concentración en un cuadrante distinto al de la fuente de olor, complicando la detección exacta. Para que se detenga el robot, es necesario que se conozca a priori la concentración máxima a identificar de cada mapa de dispersión, lo cual no sucede o varía en un entorno real.

CAPITULO VI

RESULTADOS DEL ALGORITMO DE LOCALIZACIÓN EN TIEMPO REAL

En este capítulo se describen las pruebas realizadas y resultados obtenidos al finalizar el presente proyecto de investigación. Existen pruebas del movimiento del robot en ambientes no controlados como terreno abierto, debido a la necesidad de un robot capaz de sortear obstáculos lo cual es un tema para investigaciones futuras. Además se evidencia el funcionamiento del algoritmo de localización desarrollado e implementado y su reacción ante distintos cambios como la inserción de un ventilador.

6.1. Pruebas de movilidad del robot

Una de las primeras pruebas realizadas fue la manipulación del robot en un ambiente abierto para de esta manera determinar si el hardware integrado (ver apartado 3.1) en la estructura del robot permite el movimiento en este tipo de ambientes. En la Figura 60 se observa como el robot realiza el movimiento en un ambiente abierto, las vibraciones y movimientos bruscos no presentan problema al hardware instalado. Sin embargo, a pesar de que el robot logra descender sin ningún problema por el terreno, debido a la ubicación del hardware integrado a la estructura del robot, éste no puede realizar la operación contraria, es decir no logra subir la pendiente por el peso y centro de gravedad definido en diseño.



Figura 60. Movilidad del robot en un ambiente abierto.
Fuente: Autores

En la Figura 61 se observa como el robot desciende un obstáculo, en este caso una grada de 20 centímetros de altura con respecto al pasto, continuando su movimiento sin ningún inconveniente al terminar de sortear el obstáculo. Similar al caso anterior, el robot no puede realizar el movimiento opuesto que es subir la grada, debido al peso y al centro de gravedad del robot.



Figura 61. Robot sorteando un obstáculo.
Fuente: Autores

Se verificó que para obstáculos menores a 20 cm, el robot es capaz de sortearlos o sobrepasarlos, como se evidencia en la Figura 62, con un obstáculo que tiene una altura de 15 cm, donde el robot es capaz de subir y atravesarlo sin dificultad.



Figura 62. Robot subiendo obstáculos.
Fuente: Autores

De las pruebas realizadas, se observa que el robot es capaz de movilizarse en terreno abierto. Además es capaz de sortear obstáculos menores a 15 centímetros sin que el peso de su diseño resulte un inconveniente. Para los casos de terrenos con pendientes muy pronunciadas, el robot no es capaz de subir, por lo que el movimiento y avance se vería afectado. Estos inconvenientes no presentan una limitación en el desarrollo del presente proyecto de investigación, pues el movimiento que realiza el robot es dentro del ambiente controlado.

6.2. Pruebas del algoritmo de localización de olores en un ambiente controlado

Para el presente proyecto se planteó el uso de un ambiente controlado, el mismo que se muestra en la Figura 63, donde se tiene el sistema de evaporación del químico conformado por una luz halógena que calienta el químico a 100 °C, un ventilador que ayuda a la dispersión del vapor del químico, y los cuadrantes mencionados en la sección 5.1. Cabe indicar que el ambiente controlado presenta salidas de aire, debido a las hendiduras o espacios que tiene la división interna del cuarto de pruebas compuesta de aluminio y planchas de melamina de 10 mm.

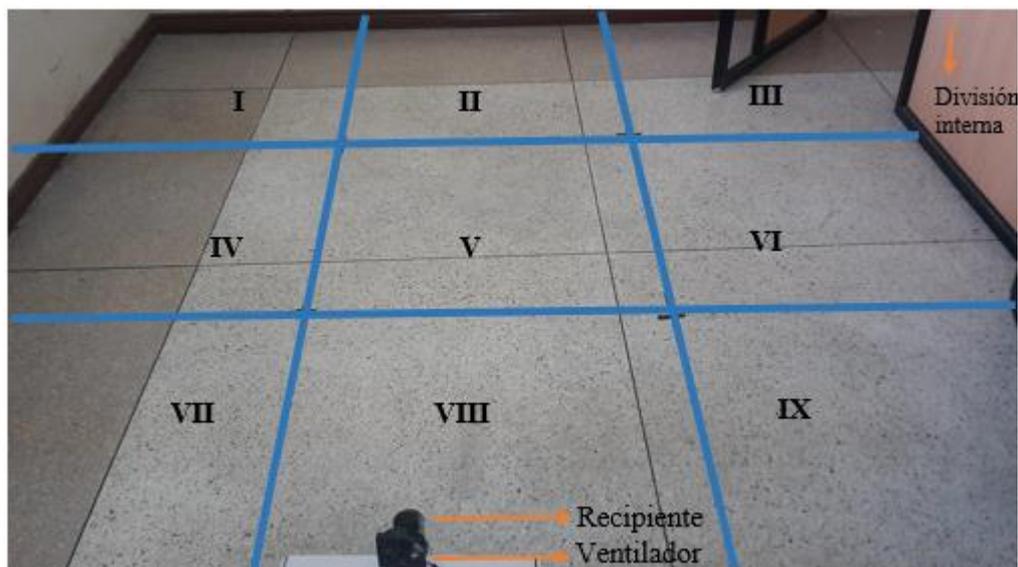


Figura 63. Ambiente controlado, donde se observa la distribución de cuadrantes, fuente de olor, ventilador y división interna del cuarto de pruebas.
Fuente: Autores

6.2.1. Resultados del algoritmo de localización con acetona

Para iniciar el proceso de detección, se coloca una muestra de 6 ml en el recipiente, conformado por 3 ml de acetona y 3 ml de agua. Una vez que la muestra se ha evaporado durante un minuto con el fin de que el ambiente se rodee del aroma, se inicia la búsqueda, para iniciar se oprime el botón “Automático” dentro de la aplicación Android.

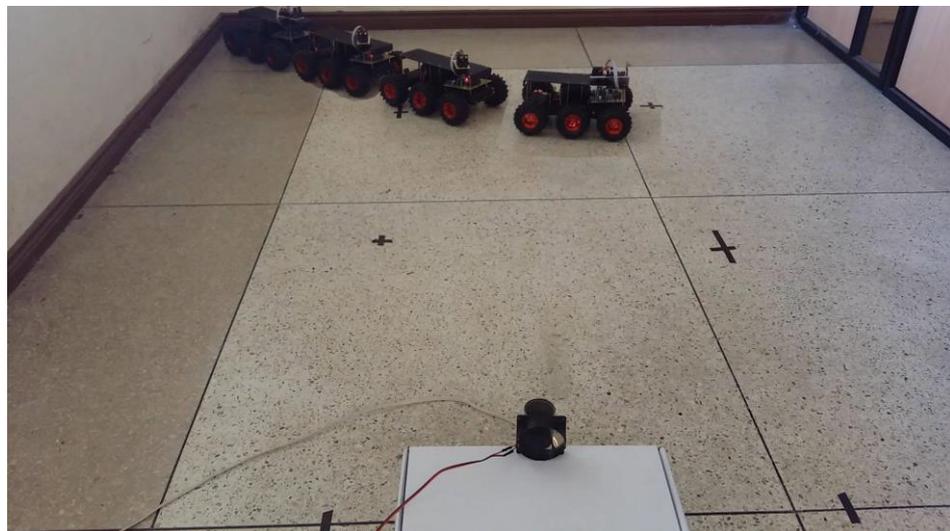
Al tener inconvenientes en la adquisición de acetona, se probó el algoritmo de localización únicamente en seis experimentos. Manteniendo la fuente de olor fija en el cuadrante VIII y cambiando la posición inicial del robot entre los cuadrantes I, II y III.

La primera prueba del algoritmo de localización se realizó con el robot ubicado en el cuadrante I y se muestra en la Figura 64, donde se aprecia que el robot no logra localizar la fuente de olor. Este resultado ya era esperado en vista que los mapas de dispersión muestra que la máxima concentración no se

ubica la posición real de la fuente. Además, la muestra se evapora rápidamente haciendo que las concentraciones para la detección no sean suficientes para poder localizar la fuente de olor.



(a)



(b)

Figura 64. Fuente de olor en el cuadrante VIII. Posición inicial del robot cuadrante I (a) Fuente no localizada. (b) Fuente no localizada.
Fuente: Autores

La segunda prueba realizada fue ubicar al robot en el cuadrante II, mostrada en la Figura 65, donde al igual que en la prueba anterior, el algoritmo de localización no es capaz de ubicar la posición de la fuente de olor, debido a la baja concentración utilizada y a la dispersión del químico en el ambiente. Se observa que el algoritmo intenta localizar la fuente de olor, ubicándose a 60 cm de la fuente de olor, sin embargo, el error permitido es de 50 cm, por lo que se considera que la fuente de olor no es detectada.



(a)



(b)

Figura 65. Fuente de olor en el cuadrante VIII. Posición inicial del robot cuadrante II (a) Fuente no localizada. (b) Fuente no localizada.
Fuente: Autores

La última prueba realizada fue ubicar al robot en el cuadrante III, mostrada en la Figura 66, donde al igual que en las pruebas anteriores, el algoritmo de localización no es capaz de ubicar la posición de la fuente de olor, a pesar de existir una aproximación del robot a la fuente de olor en la Figura 66 (b), existiendo una distancia de separación entre el robot y la fuente de olor de 60 cm. Esto debido a las características descritas en las pruebas anteriores.



(a)



(b)

Figura 66. Fuente de olor en el cuadrante VIII. Posición inicial del robot cuadrante III (a) Fuente no localizada. (b) Fuente no localizada.

Fuente: Autores

Del total de 6 pruebas realizadas, se concluye que el algoritmo de localización para acetona no es efectivo, presentando un grado de efectividad del 0%, tomando en cuenta el error de 0,5 metros descrito en la sección 5.2. Por lo tanto, debido a la baja concentración encontrada en el ambiente y por la dispersión del químico en el ambiente, el algoritmo no permite la localización de acetona dentro del ambiente controlado. La distancia de separación entre la fuente de olor y el robot en cada una de las pruebas realizadas se muestra en la Figura 67.

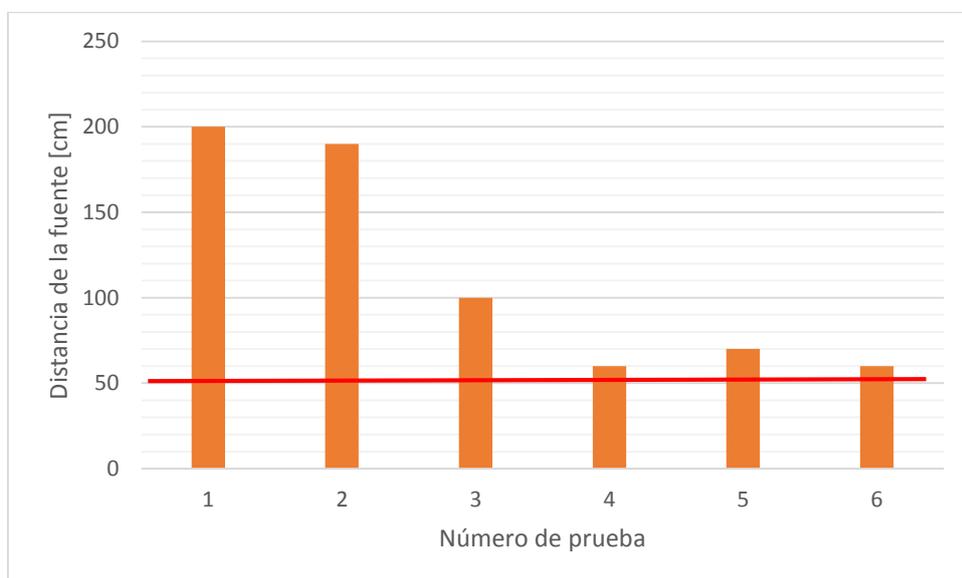


Figura 67. Historial de pruebas realizadas con acetona
Fuente: Autores

El algoritmo de localización implementado no permite que el robot se detenga a pesar de que la fuente de olor es visualmente detectada, debido a que el ventilador genera una turbulencia disminuyendo la concentración de químico. Esto no influye en la localización, pues el robot se detiene cuando ha salido del ambiente controlado y no influye en el cálculo del error debido a que se toma la última medida antes de que el robot salga del ambiente controlado.

En la Figura 68 se presentan los valores máximos sensados por la matriz de sensores en cada iteración durante la localización. Se puede observar que estos

valores no siguen un patrón determinado, de hecho se pudiera esperar que a medida que el robot se aproxima a la fuente de olor los valores se incrementen; sin embargo claramente se observa un comportamiento totalmente diferente que en algunos casos la concentración disminuye. Este puede ser debido a la utilización del ventilador y la baja concentración del químico. Cabe recalcar que para detener el robot el botón “Automático” de la aplicación Android se desactiva de forma manual.

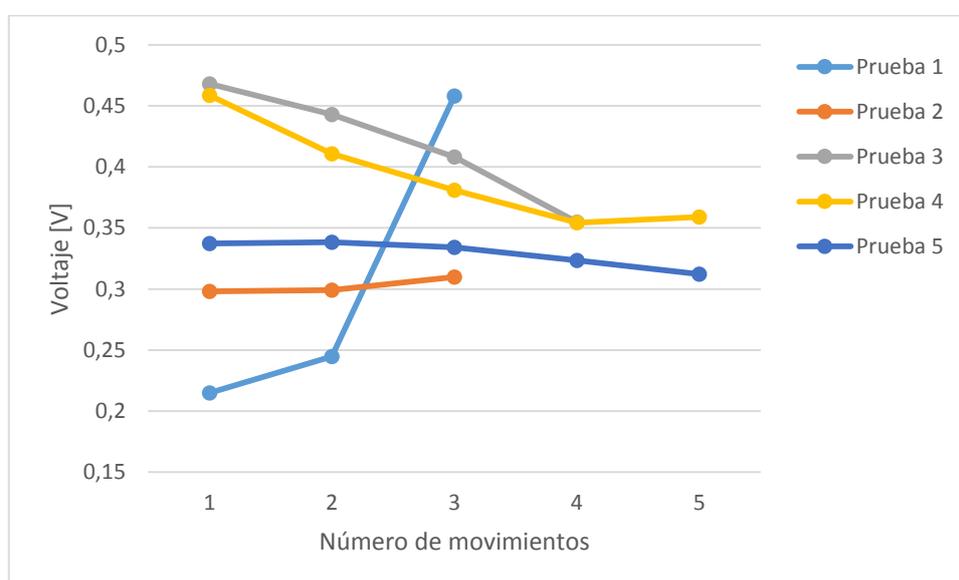


Figura 68. Comportamiento de movimiento del algoritmo de localización con etanol.
Fuente: Autores

6.2.2. Resultados del algoritmo de localización con etanol

Para iniciar el proceso de detección, se coloca una muestra de 5 ml en el recipiente, de tal manera que el ambiente esté rodeado por el olor del químico. Después de que la muestra de 5 ml es evaporada en su totalidad, se inserta la muestra de 25 ml en el recipiente y se inicia la búsqueda, para iniciar se oprime el botón “Automático” dentro de la aplicación Android.

La primera prueba del algoritmo de localización se realizó con la fuente de olor ubicada en el cuadrante VII, y el robot ubicado en diferentes posiciones iniciales, con el fin de evidenciar si la fuente de olor es detectada, sin importar desde donde inicie la búsqueda.

En la Figura 69 (a) y en la Figura 69 (b), se muestra como el robot no es capaz de localizar la fuente de olor, desde distintas posiciones iniciales, teniendo inconvenientes en las medidas realizadas por parte de los sensores y realizando un movimiento erróneo, esto se debe a las corrientes de aire que se presentan en el momento de realizar la medición, pues, como se mencionó anteriormente, existen flujos de aire que escapan o fluyen a través de la división interna del ambiente controlado y esto hace que el robot tienda a realizar su movimiento hacia esa dirección. Para evitar esta trayectoria errónea del robot, se procedió a eliminar estas corrientes de aire indeseadas, cubriendo los espacios por donde las corrientes de aire circulan, el efecto de la aplicación de esta solución es mostrada en la Figura 69 (c) y en la Figura 69 (d), donde el movimiento del robot ha mejorado para localizar la fuente de olor.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 69. Fuente de olor en el cuadrante VII. Posición inicial del robot (a) Cuadrante III y fuente no localizada. (b) Cuadrante I y fuente no localizada. (c) Cuadrante II y fuente localizada. (d) Cuadrante VI y fuente localizada.

Fuente: Autores

La segunda prueba del algoritmo, se realizó ubicando la fuente de olor en el cuadrante VIII, y el robot en distintas posiciones iniciales. En la Figura 70 (a), se muestra como el robot es capaz de localizar la fuente de olor desde una posición inicial, si bien el robot no se posiciona de frente a la muestra con el químico, el error permitido es de 0,5m según lo indicado en la sección 5.2, por lo que la fuente de olor es detectada. Por otra parte, en la Figura 70 (b), se observa otra prueba donde el robot se aproxima a la fuente de olor, teniendo también un error de 0,5 m, por lo que la fuente de olor es detectada. En la Figura 70 (c) y Figura 70 (d), la fuente de olor es directamente detectada, por lo que el algoritmo de localización funciona para distintas posiciones iniciales.



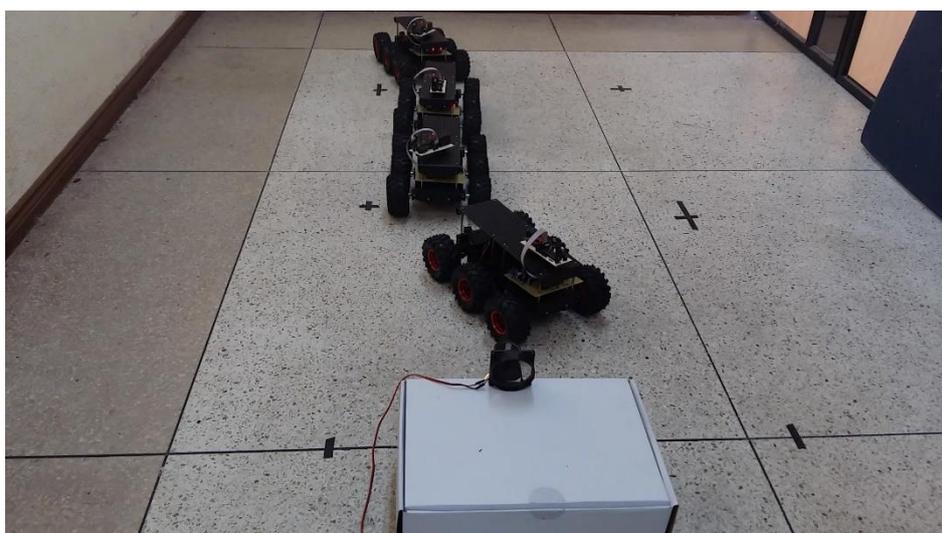
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 70. Fuente de olor en el cuadrante VIII. Posición inicial del robot.
 (a) Cuadrante III y fuente localizada. (b) Cuadrante I y fuente localizada.
 (c) Cuadrante III y fuente localizada. (d) Cuadrante II y fuente localizada.
 Fuente: Autores**

La última prueba del funcionamiento del algoritmo de localización, se la realizó ubicando la fuente de olor en el cuadrante IX y ubicando al robot en diferentes posiciones iniciales. En la Figura 71 (a), se muestra como el robot no logra identificar la posición de la fuente de olor, debido a flujos de aire no

deseados y una dispersión del olor incorrecta. En la Figura 71 (b), el robot se ubica a 0,5 metros de la fuente de olor, por lo que es detectada. Mientras que en la Figura 71 (c) y Figura 71 (d) se observa como el robot es capaz de localizar la fuente de olor.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 71. Fuente de olor en el cuadrante IX. Posición inicial del robot
 (a) Cuadrante IV y fuente no localizada. (b) Cuadrante I y fuente
 localizada. (c) Cuadrante II y fuente localizada. (d) Cuadrante III y
 fuente localizada.
 Fuente: Autores**

Después de realizar todas las pruebas con el robot y el algoritmo de localización, se puede concluir que el robot responde de manera efectiva ante los cambios de posición inicial que se realizaron y cambios de posición de la

fuente de olor. A pesar de que se pretendió simular un ambiente controlado, existen factores externos como corrientes de aire indeseadas y una dispersión no favorable para la detección que hacen que el robot en las primeras pruebas no sea capaz de identificar la fuente de olor todas las veces, además es necesario que el ambiente este completamente rodeado de aroma para mejorar la detección. Al realizar ajustes a estos parámetros que interfieren, se obtiene una mejora en la detección de la fuente de olor, haciendo que el robot sea capaz de localizar la posición en la que se encuentra la mayor concentración del químico.

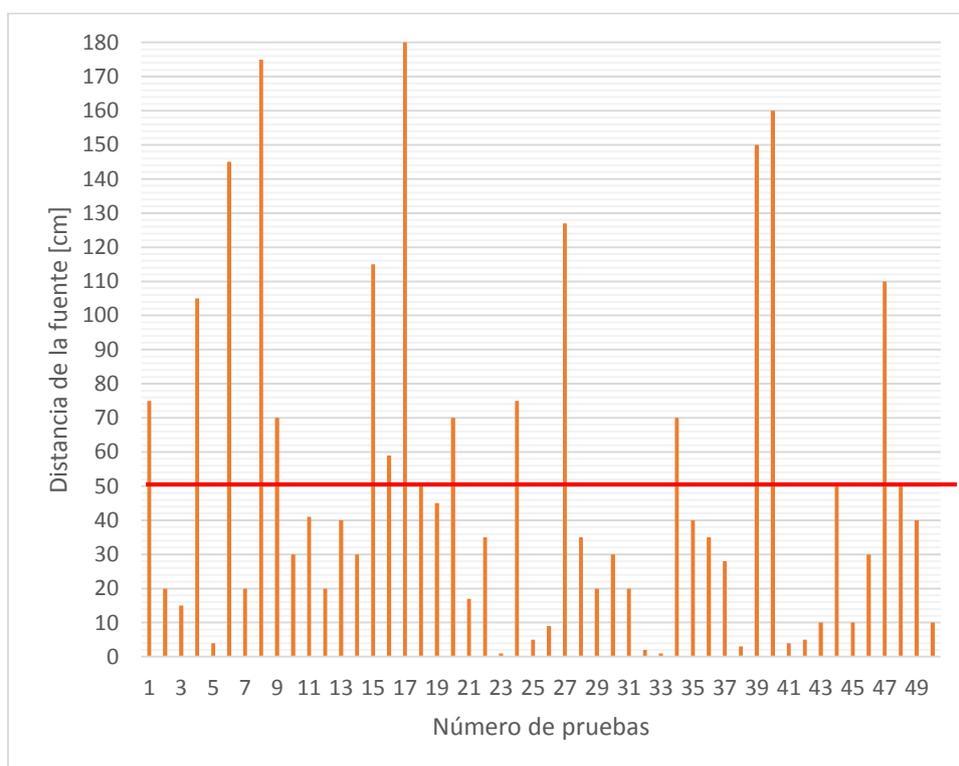


Figura 72. Historial de pruebas realizadas con etanol
Fuente: Autores

Sin embargo, como resultado de las pruebas se puede indicar que el algoritmo no es 100% efectivo en la detección, aun realizando cambios y mejorando las condiciones de detección (evitar flujos indeseados, mejora en la dispersión del químico). En la Figura 72, se muestra el historial de las pruebas

realizadas con el algoritmo de localización integrado al robot. Después de realizar cincuenta (50) pruebas, el robot logró localizar satisfactoriamente 35 de ellas, entendiéndose como localización satisfactoria, una distancia menor o igual a 0,5 metros, por lo que se puede concluir que la efectividad en la localización del robot tiene un porcentaje de exactitud del 70% con un límite de confianza entre 55% y 82%

En la Figura 73 se muestra las concentraciones máximas en cada iteración que el robot realiza durante la localización. Tal como sucedió en el caso de la acetona, el comportamiento no sigue un patrón determinado, motivo por el cual no se puede tomar un criterio único para detener el robot una vez que el robot ha llegado a la fuente o cuando se pierde. Al igual que con la acetona, esta característica no presenta un problema en el desarrollo del presente proyecto de investigación, debido a que se dispone de un botón dentro de la aplicación Android que permite la detención del robot, cuando este se sale del ambiente controlado.

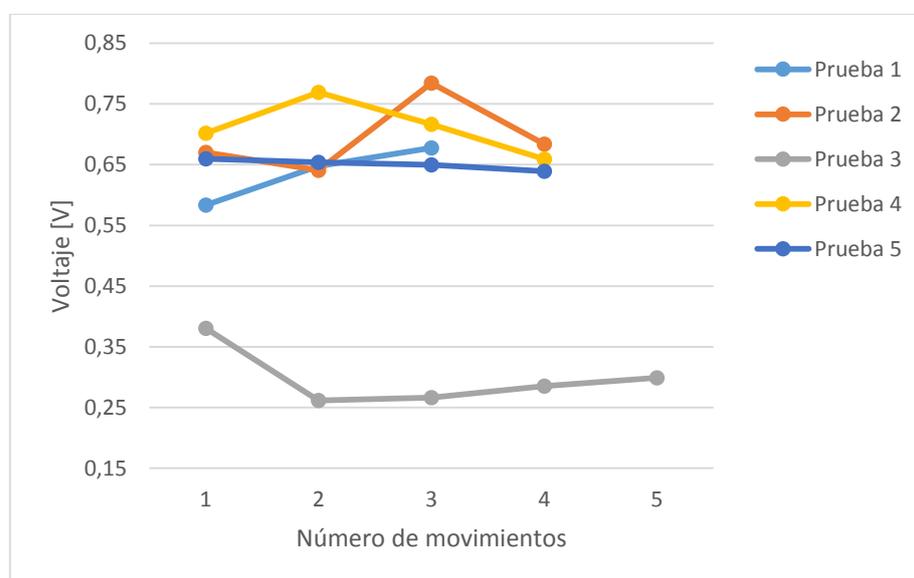


Figura 73. Comportamiento de movimiento del algoritmo de localización con etanol.

Fuente: Autores

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El prototipo de robot autónomo incorporando una matriz de sensores químicos es capaz de localizar la ubicación real de la fuente de una sustancia de interés en un ambiente controlado con 70% de efectividad y con un error de 0.5 m de distancia de la fuente de olor.
- El diseño y acondicionamiento del robot permite la movilidad y la captura de datos por parte de los sensores, que en conjunto permiten la localización de la fuente de olor.
- La utilización del módulo Wi-Fi, para la comunicación inalámbrica entre el robot y el dispositivo móvil, permite el intercambio de información y la manipulación de robot de manera remota.
- La matriz de sensores químicos permite medir las concentraciones de olor que procesadas permiten el funcionamiento del algoritmo de localización.
- El uso de un ventilador para la detección de la fuente de olor, permite que la dispersión del olor sea uniforme y tenga un flujo laminar dentro del ambiente, logrando con esto que la mayor concentración de químico se mantenga en la posición de la muestra, aspecto importante para las pruebas.
- El peso del hardware integrado a la estructura del robot y su posición permite que éste tenga un movimiento limitado al momento de subir por obstáculos, sin embargo no presenta un problema para el desarrollo del presente proyecto de investigación que se desarrolla en un ambiente controlado.

7.2. Recomendaciones

- La dispersión del químico varía dependiendo de factores como: viento, movimiento del robot, posición de la muestra química y la intensidad, por lo

que se debe crear las condiciones mejor controladas para la detección y localización.

- Posicionar el ventilador de manera favorable para la dispersión del aroma, de tal manera que se simule un flujo laminar de aire.
- La reducción de hardware y peso para mejorar el movimiento del robot, se la puede realizar en la modificación de las baterías, acoplando distintas tecnologías como la utilización de paneles solares o la utilización de baterías más livianas y de la misma capacidad.
- Se debe separar adecuadamente en el esquema del circuito la etapa de potencia y la etapa de control mediante distancia entre las pistas del circuito impreso y el grosor de las mismas, de tal manera que las corrientes parásitas producidas por la etapa de potencia, no influya en el funcionamiento de la etapa de control.
- El ancho de las pistas del esquema del circuito debe ser tomado en cuenta, ya que la disipación del calor en el circuito no es la misma para la etapa de potencia que para la etapa de control.
- Disponer de un sistema de limpieza del ambiente, ya que el tiempo para que el ambiente quede descontaminado es de aproximadamente 6 horas, lo que aumenta el tiempo entre pruebas.
- Integrar a la estructura mecánica del robot un ventilador que ayude a la absorción del químico presente en el ambiente y un ventilador que ayude a la limpieza de los sensores, de tal manera que se obtenga una medida sin residuos de medidas anteriores.
- Si se desea que el prototipo sea más específico en cuanto a la detección y abarque un área de detección más amplia, se debe manipular la matriz de sensores y aumentar el procesamiento de las señales.
- Para que el robot detecte la fuente real con el uso de acetona se debe colocar una concentración mayor o igual a la utilizada con etanol.
- Los sensores químicos son elementos sumamente sensibles a cambios en el medio ambiente como temperatura, humedad, etc. Por lo que una técnica de procesamiento e identificación de olores robusta debe ser utilizada si se desea que la detección sea más específica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Requena, R. Quintanilla, J.M. Bolarín, A. Vázquez, A. Bastida, J. Z. . L. M. T. (n.d.). Nuevas Tecnologías y Contaminación de Atmósferas. Retrieved from <http://www.um.es/LEQ/Atmosferas/Ch-VI-2/F62s4p1.htm>
- Advances, S. (2010). Swift Advances. *Business*, (September), 70100–70100.
- Aleixandre, M., Lozano, J., Guti??rrez, J., Sayago, I., Fern??ndez, M. J., & Horrillo, M. C. (2008). Portable e-nose to classify different kinds of wine. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 131(1), 71–76. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2007.12.027>
- Ampuero, S., & Bosset, J. O. (2003). The electronic nose applied to dairy products: A review. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 94(1), 1–12. [http://doi.org/10.1016/S0925-4005\(03\)00321-6](http://doi.org/10.1016/S0925-4005(03)00321-6)
- Andrade, C., & Negrete, D. (2012). *ESTUDIO PROSPECTIVO AL AÑO 2016, SOBRE EL NARCOTRÁFICO Y SU INCIDENCIA EN FFAA*. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7970/1/T-ESPE-047576.pdf>
- Angel, M., & Ascu, C. (n.d.). Canvas Un lienzo en la Web Objetivo. Retrieved from <http://www.e-quipu.pe/dinamic/publicacion/adjunto/HTML5-Canvas-1424135439gwxeOs.pdf>
- Azami, H., Mohammadi, K., & Behzad, B. (2012). An Improved Signal Segmentation Using Moving Average and Savitzky-Golay Filter. *Journal of Signal and Information Processing*, 03(01), 39–44. <http://doi.org/10.4236/jsip.2012.31006>
- Bambino, I. (2008). Una Introducción a los Robots Móviles.
- BIOSENSORES. (n.d.). MOLECULAR AFFINITY BIOSENSORS. Retrieved from http://www.biosensores.com/EN/biosensores_afinidad_molecular.php
- Brad. (2006). PCB Trace Width Calculator. Retrieved from <http://circuitcalculator.com/wordpress/2006/01/31/pcb-trace-width-calculator/>
- Brudzewski, K., Osowski, S., & Pawlowski, W. (2012). Metal oxide sensor arrays for detection of explosives at sub-parts-per million concentration levels by the differential electronic nose. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 161(1), 528–533. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2011.10.071>
- Charumpom, B., & Omatu, S. (2002). Classifying Smokes Using an Electronic Nose and Neural Networks. *Neural Networks*, 2661–2665.
- Company, F. M., & Walter, G. (1968). Capítulo 1 : Introducción, 1–9.

- Consep. (2013). Plan Nacional de Prevención Integral de Drogas 2012-2013. *Plan Nacional de Prevencion Integral de Drogas 2012-2013*, 1–93.
- DAGU. (2013). DAGU educational robot 6WD wild thumper chassis. Retrieved from <http://www.dagurobot.com/goods.php?id=47>
- Di Natale, C., Marco, S., Davide, F., & D'Amico, A. (1995). Sensor-array calibration time reduction by dynamic modelling. *Sensors and Actuators: B. Chemical*, 25(1-3), 578–583. [http://doi.org/10.1016/0925-4005\(95\)85126-7](http://doi.org/10.1016/0925-4005(95)85126-7)
- E. C. Correa, P. Barreiro, M. Ruiz-Altisent, C. C. (n.d.). Nariz electrónica ¿herramienta para la calidad en la industria agroalimentaria?, (1), 1–10.
- Figaro. (2008). TGS2602 Product information, 1–2. Retrieved from <papers3://publication/uuid/90B09016-5527-4DE2-A8DC-E729AB474FD1>
- Figaro USA INC. (2005). TGS 2600 - for the detection of Air Contaminants.
- Furton, K. G., & Myers, L. J. (2001). The scientific foundation and efficacy of the use of canines as chemical detectors for explosives. *Talanta*, 54(3), 487–500. [http://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00546-4](http://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00546-4)
- Gardner, J. W., Shin, H. W., Hines, E. L., & Dow, C. S. (2000). An electronic nose system for monitoring the quality of potable water. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 69(3), 336–341. [http://doi.org/10.1016/S0925-4005\(00\)00482-2](http://doi.org/10.1016/S0925-4005(00)00482-2)
- GeekFactory. (n.d.). Convertidor DC-DC Step-Down (Buck). Retrieved from <http://www.geekfactory.mx/tienda/energia/convertidor-dc-dc-step-down-buck/>
- Goldsmith, A. (2005). Wireless Communications. *Wireless Communications*, 250. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511841224>
- Gonzalez Carvajal, R., Perez Mira, V., Daza Rebollo, D., & Carrillo Castrillo, J. (2012). Tecnologías inalámbricas. *Seguridad Y Medio Ambiente*, 10–21.
- Goschnick, J., Koroncz, I., Frietsch, M., & Kiselev, I. (2005). Water pollution recognition with the electronic nose KAMINA. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 106(1 SPEC. ISS.), 182–186. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2004.05.055>
- Guiñón, J. L., Ortega, E., García-Antón, J., & Pérez-herranz, V. (2007). Moving Average and Savitzki-Golay Smoothing Filters Using Mathcad. *International Conference on Engineering Education*, (1), 1–4. Retrieved from <http://academic.research.microsoft.com/Paper/12119855.aspx>
- I, A. H. M., A. B. M., & Joaquín, I. (2007). Diseño y Control de Robots Móviles.

- International Crisis Group. (2008). La droga en América Latina I: Perdiendo la lucha, 44.
- Ishida, H., Wada, Y., & Matsukura, H. (2012). Chemical sensing in robotic applications: A review. *IEEE Sensors Journal*, 12(11), 3163–3173. <http://doi.org/10.1109/JSEN.2012.2208740>
- James, D., Scott, S. M., Ali, Z., & O'Hare, W. T. (2005). Chemical sensors for electronic nose systems. *Microchimica Acta*, 149(1-2), 1–17. <http://doi.org/10.1007/s00604-004-0291-6>
- Kästner, D. (2003). Embedded DSP : Introduction to Digital Filters, 2003(c), 1–41.
- Kowadlo, G., & Russell, R. A. (2016). Robot Odor Localization : A. <http://doi.org/10.1177/0278364908095118>
- Lamagna, A., Reich, S., Rodríguez, D., Boselli, A., & Cicerone, D. (2008). The use of an electronic nose to characterize emissions from a highly polluted river. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 131(1), 121–124. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2007.12.026>
- Lebrun, M., Plotto, A., Goodner, K., Ducamp, M. N., & Baldwin, E. (2008). Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 122–131. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.010>
- Lilienthal, A. J., Loutfi, A., & Duckett, T. (2006). Airborne Chemical Sensing with Mobile Robots. *Sensors*, 6, 1616–1678. <http://doi.org/10.3390/s6111616>
- Llobet, E. (1999). Fuzzy ARTMAP based electronic nose data analysis. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 61(1-3), 183–190. [http://doi.org/10.1016/S0925-4005\(99\)00288-9](http://doi.org/10.1016/S0925-4005(99)00288-9)
- Lozano, J., Santos, J., & Aleixandre, M. (2003). Sistema de nariz electrónica para el análisis de la evolución del vino controlada por pc. *Actas de Las XIV*, 1–6. Retrieved from <http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXIV/documentos/incon/81.pdf>
- Mendoza, L. (2015). Más de 3.000 detenidos en 11.000 operativos antidroga en Bolivia. Retrieved from <http://eju.tv/2015/12/2015-mas-3-000-detenidos-11-000-operativos-antidroga-bolivia/>
- Miekisch, W., Schubert, J. K., & Noeldge-Schomburg, G. F. E. (2004). Diagnostic potential of breath analysis--focus on volatile organic compounds. *Clinica Chimica Acta; International Journal of Clinical Chemistry*, 347(1-2), 25–39. <http://doi.org/10.1016/j.cccn.2004.04.023>

- Mike Barela. (2015). ESP8266 Temperature / Humidity Webserver. Retrieved from <https://learn.adafruit.com/esp8266-temperature-slash-humiditywebserver>
- Mildner-Szkudlarz, S., & Jeleń, H. H. (2008). The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil. *Food Chemistry*, 110(3), 751–761. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.053>
- Miyara, F., & Lahoz, L. A. (2003). INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS FRECUENCIAL Y AL RUIDO ELÉCTRICO. Retrieved from <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3>
- Mizrahi, D. (2014). Los 10 países en los que más se consume y se trafica cocaína. Retrieved from <http://www.infobae.com/2014/11/08/1607378-los-10-paises-los-que-mas-se-consume-y-se-trafica-cocaina>
- Moreno, A. (2009). Señales y Sistemas I Filtros.
- Moreno, I., Caballero, R., Galán, R., Matía, F., & Jiménez, A. (2009). La Nariz Electrónica: Estado del Arte. *Revista Iberoamericana de Automática E Informática Industrial RIAI*, 6(3), 76–91. [http://doi.org/10.1016/S1697-7912\(09\)70267-5](http://doi.org/10.1016/S1697-7912(09)70267-5)
- Morera, J., & Moreno, J. A. (2015). LOCALIZACIÓN Y POSICIONAMIENTO MEDIANTE SENSORES OLFATIVOS : REVISIÓN, 2–4.
- Mundo, E. (2014). EEUU señala a Bolivia, Colombia y Perú entre los principales países productores y de tránsito de drogas: Unidad Editorial Información General S.L.U. Retrieved from <http://www.elmundo.es/internacional/2014/09/16/5417f6d0e2704eb7318b456d.html>
- Nakamoto, T., Ishida, H., & Moriizumi, T. (1997). Active Odor Sensing System, 128–133.
- NASA. (2012). Mars Science Laboratory Curiosity Rover. Retrieved from <http://mars.nasa.gov/msl/mission/overview/>
- Pan, L., Liu, R., Peng, S., Chai, Y., & Yang, S. X. (2007). An wireless electronic nose network for odours around livestock farms. *Proceedings 14th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, M2VIP2007*, 211–216. <http://doi.org/10.1109/MMVIP.2007.4430745>
- Persaud, K. C., Pisanelli, A. M., Evans, P., & Travers, P. J. (2006). Monitoring urinary tract infections and bacterial vaginosis. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 116(1-2), 116–120. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2005.12.062>

- Pividori, M. (2008). La Química Analítica en la era de la genómica, protémica y celómica, (3000). Retrieved from <http://einstein.uab.es/ipividori/>
- Pomareda Sesé, V., & Marco Colás, S. (2013). Signal Processing Approaches to the Detection and Localization of Gas Chemical Sources using Partially Selective Sensors. *Departament d'Electrònica, PhD*, 239. Retrieved from <http://www.tdx.cat/handle/10803/119727>
- Quicazán, M., Díaz, A., & Zuluaga, C. (2011). La Nariz Electrónica, Una Novedosa Herramienta Para El Control De Procesos Y Calidad En La Industria Agroalimentaria. *Vitae*, 18(45), 209–217.
- SainSmart. (n.d.-a). SainSmart TGS2600 Air Contaminants Sensor Detector for Arduino Raspberry Pi AVR ARM Figaro. Retrieved from <http://www.sainsmart.com/sainsmart-tgs2600-air-contaminants-sensor-detector-for-arduino-raspberry-pi-avr-arm-figaro.html>
- SainSmart. (n.d.-b). SainSmart TGS2602 Air Contaminants Sensor Detector For Arduino Raspberry Pi AVR ARM. Retrieved from <http://www.sainsmart.com/sainsmart-tgs2602-air-contaminants-sensor-detector-for-arduino-raspberry-pi-avr-arm.html>
- Senanayake, M., Senthoran, I., Barca, J. C., Chung, H., Kamruzzaman, J., & Murshed, M. (2014). Search and tracking algorithms for swarms of robots: A survey. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 422–434. <http://doi.org/10.1016/j.robot.2015.08.010>
- Siegrwart, R., & Nourbakhsh, I. R. (2004). *Introduction to Autonomous Mobile Robots. Robotica* (Vol. 23).
- Staples, E. J., Ph, D., & Landon, C. (n.d.). Detection of Pulmonary Infections in Cystic Fibrosis Patients Using the zNose ® , an Ultra-fast Gas Chromatograph, 1–12.
- Systems, E., & Team, I. O. T. (2015). ESP8266 AT Instruction Set, (c), 1–66.
- Texas Instruments. (2013). LM2596 SIMPLE SWITCHER, (April). Retrieved from www.ti.com
- Villarreal, B. L., Olague, G., & Gordillo, J. L. (2014). Synthesis of odor tracking algorithms with genetic programming. *Neurocomputing*. <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.09.108>
- Webster, A. (1998). Técnicas de Suavización.
- WOUTER VAN OOIJEN. (2015). ESP8266 – HARDWARE. Retrieved from www.voti.nl/blog/?author=1

Zhang, H., Wang, J., & Ye, S. (2008). Predictions of acidity, soluble solids and firmness of pear using electronic nose technique. *Journal of Food Engineering*, 86(3), 370–378. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.026>

ANEXOS