



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

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

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE
ALGORITMOS DE LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE
OLOR EN UN SISTEMA ROBÓTICO”**

AUTOR:

ARIAS ARMIJOS, BYRON RAMIRO

DIRECTORA: GUAMÁN NOVILLO, ANA VERÓNICA

SANGOLQUÍ

2017



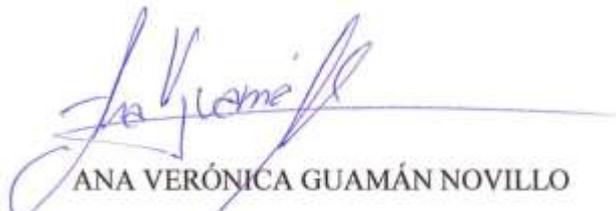
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS DE LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE OLOR EN UN SISTEMA ROBÓTICO” realizado por el señor Arias Armijos Byron Ramiro, 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 al señor Arias Armijos Byron Ramiro para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 03 de febrero de 2017



ANA VERÓNICA GUAMÁN NOVILLO
DIRECTORA



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Arias Armijos Byron Ramiro, con cédula de identidad N° 1104413644, declaro que este trabajo de titulación “DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS DE LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE OLOR EN UN SISTEMA ROBÓTICO” 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 declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 03 de febrero de 2017


Byron Ramiro Arias Armijos
C.C. 1104413644



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Arias Armijos Byron Ramiro, autorizo 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 ALGORITMOS DE LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE OLOR EN UN SISTEMA ROBÓTICO” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 03 de febrero de 2017


Byron Ramiro Arias Armijos
C.C. 1104413644

DEDICATORIA

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

A mi compañera de vida, por siempre estar a mi lado y nunca dejarme solo ni en los malos y buenos momentos, guiándome y apoyándome para lograr esta meta en mi vida.

A mi Tutora de tesis por las aptitudes y virtudes adquiridas para poder ser un gran ser humano y profesional, por su paciencia y comprensión, ya que gracias a ella pude terminar este proyecto de investigación de la mejor manera.

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

A la Universidad de Las Fuerzas Armadas – ESPE por permitirme la oportunidad de aprender y formarme de una manera íntegra en el profesional que ahora soy.

Byron Ramiro Arias Armijos

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia, a mi compañera de vida y a mis hermanos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. Por último, a mi directora de tesis quién me ayudó en todo momento, Msc. Ana Guamán

Byron Ramiro Arias Armijos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Objetivos.....	10
1.4. Descripción general del proyecto.....	11
CAPÍTULO II	14
MARCO CONCEPTUAL.....	14
2.1. Detección de olores por caninos.....	14
2.1.1. Métodos de detección de olores	16
2.2. Nariz electrónica	20
2.2.1. Sensores químicos de dióxido de estaño de la familia MQ.....	22
2.3. Robótica móvil	26
2.3.1. RF para el control remoto del robot.	28
2.4. Algoritmos de navegación y localización de olores.....	31
2.4.1. Navegación a través de reconocimiento del color usando Modelos HSL.....	32
2.4.2. Localización de fuente de olor usando redes neuronales para localización de olores.....	35
CAPÍTULO III	39
ACONDICIONAMIENTO Y COMUNICACIÓN CON EL ROBOT.....	39
3.1. Elección de la estructura mecánica del dispositivo móvil	39

3.2. Acondicionamiento del dispositivo móvil con el microcontrolador, cámara IP, sensores y actuadores.....	41
3.2.1. Etapa de control.....	42
3.2.2. Etapa de visión artificial.....	49
3.2.3. Etapa de potencia	51
3.3. Montaje etapa de potencia, control y visión artificial a la estructura del dispositivo móvil.....	57
3.4. Comunicación inalámbrica entre el ordenador y el dispositivo móvil.....	58
CAPÍTULO IV.....	64
ALGORITMOS DE NAVEGACIÓN USANDO VISIÓN ARTIFICIAL, Y LOCALIZACIÓN A TRAVÉS DE REDES NEURONALES.....	64
4.1. Algoritmo de navegación mediante visión artificial.	64
4.1.2. Algoritmo de detección basado en visión artificial.....	72
4.2. Algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales.....	73
4.4. Integración del sistema autónomo de navegación y localización de fuentes de olor	85
4.4.1 Desarrollo de algoritmos en Phyton y Arduino.....	86
4.4.2 Pruebas de funcionamiento	90
CAPÍTULO V	95
RESULTADOS.....	95
5.1. Prueba del funcionamiento en un ambiente controlado sin obstáculos y sin fuente de olor.....	95
5.2. Prueba del funcionamiento en un ambiente controlado sin obstáculos y con fuente de olor.....	97
5.3. Prueba del funcionamiento en un ambiente controlado con obstáculos y sin fuente de olor.....	99
5.4. Prueba del funcionamiento en un ambiente controlado con obstáculos y con fuente de olor.....	101
5.5. Resultados de las pruebas del funcionamiento en un ambiente controlado con y sin obstáculos, con y sin fuente de olor.....	103
CAPÍTULO VI.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
6.1. Conclusiones	109
6.2. Recomendaciones.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características principales de modelos de sensores MQ	24
Tabla 2 Composición HSL del color azul	34
Tabla 3 Características del robot DAGU WILD THUMPER 6WD	40
Tabla 4 Etapas de acondicionamiento del robot DAGU WILD THUMPER 6WD...	41
Tabla 5 Requerimientos etapa de control.....	43
Tabla 6 Detalle de conexión de los pines del microcontrolador	45
Tabla 7 Funcionamiento puente H con relés.....	54
Tabla 8 Caracteres ASCII que intervienen en la comunicación serial RF.....	59
Tabla 9 Distribución de las pruebas realizadas por ubicación y concentración.....	78
Tabla 10 Distribución de las entradas en la matriz de entrenamiento por ubicación y concentración	79
Tabla 11 Estructura de la matriz de entrenamiento.....	81
Tabla 12 Respuestas de la red neuronal	82
Tabla 13 Pruebas realizadas	104
Tabla 14 Resultado de las pruebas realizadas	104
Tabla 15 Matriz de confusión sin fuente de olor.....	105
Tabla 16 Matriz de confusión sobre la ubicación de la fuente olor	106
Tabla 17 Matriz de confusión sobre la concentración de la fuente olor	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Países con más decomisos de cocaína	3
Figura 2 Consumo de cocaína en América Latina	4
Figura 3 Agente policial y can realizando detección de droga	5
Figura 4 Proyecto de tesis sobre la nariz electrónica sobre un dispositivo móvil	9
Figura 5 Funcionamiento esperado del algoritmo de localización.....	11
Figura 6 Control de envío de drogas en aeropuerto con can adiestrado	14
Figura 7 Proceso para la detección de olor en la nariz de un can	16
Figura 8 Elementos para el aprendizaje canino.....	18
Figura 9 Ejercicio de entrenamiento en detección de sustancias	19
Figura 10 Otorgamiento del espacio por guía hacia can	19
Figura 11 La nariz electrónica y el sistema del olfato humano.....	21
Figura 12 Estructura Interna de un sensor químico.	22
Figura 13 Sensor químico MQ.....	23
Figura 14 Circuito equivalente de los sensores químicos MQ.....	25
Figura 15 Curva típica de los sensores de gases	25
Figura 16 Posibles trayectorias que puede seguir un robot móvil.	26
Figura 17 Robot de exploración Marciana Curiosity	28
Figura 18 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación bidireccional	29
Figura 19 Diagrama de bloques de un transmisor.....	30
Figura 20 Diagrama de bloques de un receptor	30
Figura 21 Modelo de color HSL	33
Figura 22 (a) Imagen capturada por la cámara y (b) Imagen filtrada para el color azul	34
Figura 23 Modelo matemático neurona artificial.....	36
Figura 24 Ejemplo de una Red Neuronal totalmente conectada	36
Figura 25 Proceso de una Red Neuronal.....	37
Figura 26 DAGU Wild THUMPER 6WD.....	40
Figura 27 Esquema general, donde (1) Baterías LIPO, (2) Conversores DC-DC, (3) Driver motor DC, (4) Módulo 4 relés, (5) Switch (ON/OFF), (6) Compas electrónico, (7) Arduino DUE, (8) Servomotor, (9) Arreglo de sensores químicos, (10) Sensores ultrasónicos y (11) módulo RF.....	42
Figura 28 Etapa de control, donde (1) Arduino DUE (2) Servomotor (3) Compas Electrónico (4) Arreglo de sensores químicos, (5) Sensores Ultrasónicos y (6) módulo RF.....	43
Figura 29 Diagrama de control de funcionamiento en lazo cerrado	44
Figura 30 Arduino DUE.....	45
Figura 31 Esquema de control de la plataforma móvil	46
Figura 32 Altura de sensores ultrasónicos laterales	47
Figura 33 Sensor Ultrasónico HR-SC04.....	47
Figura 34 Compas electrónico GY-271	48

Figura 35 Arreglo de sensores químicos MQ, donde (1) MQ-3 derecha, (2) MQ-2, (3) MQ-3 centro, (4) MQ-4, (5) MQ-135 y (6) MQ-3 izquierda	48
Figura 36 Modulo RF APC220	49
Figura 37 Esquema de funcionamiento de la plataforma móvil	50
Figura 38 Cámara IP inalámbrica	50
Figura 39 Acceso cámara IP 192.168.1.2	51
Figura 40 Esquema etapa de potencia, donde (1) Baterías LIPO, (2) Conversores DC-DC, (3) Driver motor DC, (4) Módulo 4 relés y (5) Switch (ON/OFF).....	52
Figura 41 Conexión en paralelo baterías LIPO 7.4V 2500mA	53
Figura 42 (a) Conversor DC-DC LM2596S sin disipador, (b) Conversor DC-DC LM2596S con disipador	53
Figura 43 Modulo de 4 relés	54
Figura 44 Diagrama esquemático puente H	55
Figura 45 Driver motor DC.....	56
Figura 46 Posicionamiento de un servomotor.....	56
Figura 47 Dispositivo móvil conectado exterior	57
Figura 48 Dispositivo móvil conectado interior.....	58
Figura 49 Configuración serial RF Python	60
Figura 50 configuración serial RF Arduino	61
Figura 51 Ventana de acceso cámara IP	62
Figura 52 Configuración cámara IP en Python	63
Figura 53 Forma de comunicación inalámbrica.....	63
Figura 54 Ambiente controlado con obstáculos.....	64
Figura 55 Diagrama de flujo del registro de la Ubicación magnética del dispositivo móvil.....	65
Figura 56 Proceso del Registro de ubicación magnética	66
Figura 57 Diagrama de flujo de la lógica de evasión de obstáculos	67
Figura 58 Ubicación del obstáculo en referencia del dispositivo móvil	68
Figura 59 Diagrama de flujo del algoritmo esquivar por la derecha.....	68
Figura 60 Posible condición del obstáculo al esquivar por la derecha	69
Figura 61 Diagrama de flujo del algoritmo esquivar hacia atrás 1	69
Figura 62 Diagrama de flujo del algoritmo esquivar por la izquierda	70
Figura 63 Posible condición del obstáculo al esquivar por la izquierda.....	71
Figura 64 Diagrama de flujo del algoritmo esquivar hacia Atrás 2	71
Figura 65 Diagrama de flujo del algoritmo basado en visión artificial	73
Figura 66 Posiciones del dispositivo móvil para la recolección de información.....	74
Figura 67 Diagrama de Flujo recolección de información en tablas de Excel.....	74
Figura 68 Matriz de información recolectada en Excel	75
Figura 69 Datos recolectados sin suavizado exponencial	75
Figura 70 Datos recolectados con suavizado exponencial.....	76
Figura 71 Datos recolectados sin y con suavizado exponencial	77
Figura 72 Ejemplo gráfico del algoritmo PCA	78
Figura 73 Varianza capturada de las componentes principales del arreglo de sensores químicos.....	80

Figura 74 Primer resultado del análisis PCA con el 94% de la varianza capturada ..	80
Figura 75 Matriz de entrenamiento	82
Figura 76 Entrenamiento de la Red Neuronal en MATLAB	83
Figura 77 Ajuste de la Red Neuronal en MATLAB	83
Figura 78 Diagrama de Flujo de la implementación del algoritmo basado en redes neuronales	84
Figura 79 Diagrama de Flujo del sistema automático integrado.....	85
Figura 80 Diagrama de flujo Python 2.7	87
Figura 81 Diagrama de flujo Arduino	89
Figura 82 botón 5 del joystick.....	90
Figura 83 Esquivar por la derecha	91
Figura 84 Posible complicación de giro a la derecha.....	91
Figura 85 Esquivar hacia atrás (complicación a la derecha).....	92
Figura 86 Esquivar por la izquierda	92
Figura 87 Posible complicación de giro a la izquierda	93
Figura 88 Esquivar hacia atrás (complicación a la izquierda)	93
Figura 89 Posible fuente de Olor	94
Figura 90 Respuesta de la Red Neuronal	94
Figura 91 Ambiente controlado, donde se observa a las fuentes de olor sin muestra y sin obstáculos en la trayectoria recta del dispositivo móvil	95
Figura 92 Prueba sin obstáculos y fuente de olor sin muestra. (a) Inicio modo automático. (b) movimiento a delante hacia detectar un obstáculo. (c) detección del color y posicionamiento cerca de posible fuente de olor	96
Figura 93 Prueba sin obstáculos y fuente de olor sin muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales	96
Figura 94 Ambiente controlado, donde se observa al sistema de evaporación con muestra y sin obstáculos en la trayectoria recta del dispositivo móvil	97
Figura 95 Prueba sin obstáculos y fuente de olor con muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales	98
Figura 96 Prueba sin obstáculos y fuente de olor con muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales	98
Figura 97 Ambiente controlado, donde se observa al sistema de evaporación sin muestra y con obstáculos en la trayectoria recta del dispositivo móvil	99
Figura 98 Prueba sin obstáculos y fuente de olor sin muestra. (a) Inicio modo automático. (b) movimiento a delante hacia detectar un obstáculo. (c) esquivar obstáculo por la izquierda. (d) movimiento delante hasta sobrepasar obstáculo. (e) giro a la derecha. (f) esquivar obstáculo por la izquierda. (g) movimiento hacia delante hacia detectar obstáculo. (h) reconocer color y posicionarse cerca de la posible fuente de olor. ...	100

Figura 99 Prueba con obstáculos y fuente de olor sin muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales	101
Figura 100 Ambiente controlado, donde se observa al sistema de evaporación con muestra y con obstáculos en la trayectoria recta del dispositivo móvil	102
Figura 101 Prueba con obstáculos y fuente de olor con muestra. (a) Inicio modo automático. (b) movimiento a delante hacia detectar un obstáculo. (c) esquivar obstáculo por la derecha. (d) giro a la izquierda. (e) movimiento a delante hacia detectar obstáculo. (f) reconocer color y posicionarse cerca de la posible fuente de olor...	102
Figura 102 Prueba con obstáculos y fuente de olor con muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales	103
Figura 103 Resultado inicial de las pruebas realizadas en un ambiente controlado con y sin obstáculos, con y sin fuentes de olor.	106
Figura 104 Resultado final de las pruebas realizadas en un ambiente controlado con y sin obstáculos, con y sin fuentes de olor.	108

RESUMEN

La necesidad de encontrar nuevas soluciones tecnológicas e innovadoras para combatir el narcotráfico dentro del país, ha llevado al desarrollo de diferentes dispositivos electrónicos que sean capaces de responder ante el olor de alguna sustancia ilícita como hacen los canes adiestrados antidrogas. El inconveniente con el uso de canes es su tediosa y delicada preparación para sean capaces de detectar la presencia o ausencia de la sustancia ilícita, tomando en cuenta que desde cachorros son entrenados a base de juegos hasta que tengan la habilidad de detectar dichas sustancias. Una alternativa al uso de canes adiestrados son los dispositivos robóticos móviles que son dotados con sensores químicos que reaccionan al entrar en contacto con el olor de sustancia ilícita en el ambiente. En el desarrollo del presente proyecto de investigación se utiliza el robot DAGU WILD THUMPER como medio robótico, sensores químicos de óxido de aluminio y dióxido de estaño de la familia MQ, los cuales son MQ-2, MQ-3, MQ-4 y MQ-135 como medidores de sustancias químicas, 8 sensores ultrasónicos HC-SR04 estratégicamente distribuidos sobre el dispositivo móvil para la detección de obstáculos, un compás electrónico de modelo GY-271 que permite al robot girar correctamente y posicionarse en la dirección exacta para evitar obstáculos, y una cámara IP montada sobre el dispositivo móvil que permite observar el ambiente y ofrece una detección de las posibles fuentes de olor. En la etapa de detección, el sistema implementa tres algoritmos que permiten la navegación del robot móvil en un ambiente controlado empleando un algoritmo de clasificación de colores HSL de visión artificial, dirigiendo el robot hacia una posible fuente de olor para su localización química basado en redes neuronales artificiales; después de realizar distintas pruebas es una correcta localización de la ubicación (al frente, derecha o izquierda) y concentración (baja o alta) de la fuente de olor en un ambiente controlado.

PALABRAS CLAVE:

- **SUSTANCIAS ILÍCITAS**
- **DAGU WILD THUMPER**
- **SENSORES MQ**
- **ALGORITMO HSL**
- **ULTRASÓNICOS HC-SR04.**

ABSTRACT

The need to find new technological and innovative solutions to combat Drug Trafficking within the country has led to the development of different electronic devices which are capable of respond to the smell of some illegal substance such as anti-drug trained dogs. The inconvenience with the use of Dogs is their tedious and delicate preparation to be able to detect the presence or absence of the illicit substance, since puppies are trained on games until they have the ability to detect such substances, an alternative to the use of trained dogs is mobile robot devices which are equipped with chemical sensors that react with the odor of illicit substance in the environment. In this research project, the DAGU WILD TRUPER robot was used as robotic device where, chemical sensors of aluminum oxide and tin dioxide of the MQ family, were embed as electronica nose (MQ-2, MQ-3, MQ-4 and MQ- 135), 8 HC-SR04 ultrasonic sensors strategically were distributed over device for the obstacle detection, an electronic compass of the GY-271 model allowed the robot to rotate correctly and position in the exact direction when crossing the obstacles and an IP camera was mounted on the mobile device that allows observing the environment and offers a detection of possible odor sources. In detection stage, the system implements three algorithms allowed the navigation of the mobile robot in a controlled environment using an HSL algorithm of artificial vision, the robot moved to a possible source and detect for chemical location based on Artificial neuronal networks; after different tests the resulted is a correct localization of the odor (front, right or left) and its concentration (low or high) of the odor source in a controlled environment.

KEY WORDS:

- **ILLEGAL SUBSTANCE**
- **DAGU WILD THUMPER**
- **MQ SENSORS**
- **ALGORITHM HSL**
- **HC-SR04 ULTRASONIC.**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

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

1.1. Motivación

La producción, venta y consumo de sustancias psicotrópicas (Agente químico que actúa sobre el sistema nervioso central) o drogas es una realidad a nivel mundial, cada región y país poseen distintas características específicas relacionándose directamente con otras problemáticas sociales que inciden en el desarrollo de la población (Consep, 2012). En el contexto de globalización ningún país puede mantenerse aislado de las dinámicas internacionales. Es así como el Ecuador se encuentra inmerso dentro de las redes del crimen organizado internacional (Lopez & Negrete, 2012).

Según López 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 narcotráfico es una de las nuevas amenazas no convencionales, la cual involucra a actores no estatales, es transnacional y suscita respuesta que va más allá de la intervención militar (Espinoza, 2006). El tema debido a su complejidad, requiere un abordaje global el cual 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) (Lopez & Negrete, 2012). La proximidad geográfica a Colombia y Perú, ambos productores de coca, es sin duda la principal vulnerabilidad del Ecuador en relación al narcotráfico (Espinoza, 2006).

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 técnica 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).

Los caninos detectores de sustancias controladas son entrenados para la detección de narcóticos, dinero, tabaco y alcohol. Los principios de entrenamiento se dividen en tres fases: potenciación, asociación y registro (Policia Nacional de Colombia, 2011). La evolución de los canes permitió a los seres humanos determinar las aptitudes de los perros y la manera como podían ayudar a la población, para el desarrollo de estas actividades es necesario realizar un estudio amplio sobre los canes, sus características, razas, tipo de sustancias que pueden detectar y el tipo de adiestramiento necesario (Flores & Carrera, 2015).

El objetivo del presente proyecto de investigación, es poder generar un prototipo de dispositivo móvil que sea capaz de detectar los elementos químicos empleados para la elaboración de narcóticos y/o explosivos, que en su estado inicial sirva para la localización de alcohol dentro de un ambiente controlado y el trazo de la trayectoria hacia el origen del olor, esquivando diferentes tipos de obstáculos y posicionándose frente a dicha fuente de olor. Este proyecto puede contribuir de manera positiva a las instituciones estatales encargadas de controlar y regular el ingreso de sustancias psicotrópicas. Siendo además una actualización a un estudio previo sobre el sentido químico por medios electrónicos, utilizando redes neuronales para el procesamiento, detección y localización del origen de olor, con el objetivo de continuar el campo de investigación que relaciona la seguridad, defensa civil y defensa militar con los conocimientos en la carrera de Ingeniería en Electrónica en Automatización y Control.

1.2. Antecedentes

El Ecuador es un punto clave en el tráfico de sustancias estupefacientes y psicotrópicas debido a la facilidad con que ingresan al país por tierra, mar y aire (Lopez & Negrete, 2012). Siendo uno de los factores más importantes su cercanía con los mayores productores de estas sustancias como lo son Colombia, Perú y Bolivia (El Mundo Internacional, 2014). Los percusores químicos como: acetona, éter y ácido

sulfúrico son las sustancias base para la elaboración de estupefacientes. Una vez que la droga es procesada en los países vecinos al Ecuador, esta ingresa ilegalmente fallando los controles rutinarios que se realizan en las fronteras con la ayuda de canes adiestrados, y es enviada a los grandes consumidores son USA y Europa; ratificando que el Ecuador es un país de acopio y distribución de estupefacientes, la Policía Nacional y Fuerzas Armadas han realizado diversas operaciones en el oriente ecuatoriano donde se han descubierto plantaciones, laboratorios y bodegas de acopio (International Crisis Group, 2008).

A inicios del año 2008, se decomisaron alrededor de 3 toneladas y 279 personas fueron detenidas por vínculos con organizaciones de tráfico internacional (International Crisis Group, 2008). Ecuador supera el record de en decomiso de droga, en 2015 se decomisó 71,9 toneladas de estupefacientes en su mayoría Cocaína, al cierre del 2016 se decomisó 81,15 toneladas según datos oficiales (Andes, 2016) (Véase **Figura 1**).

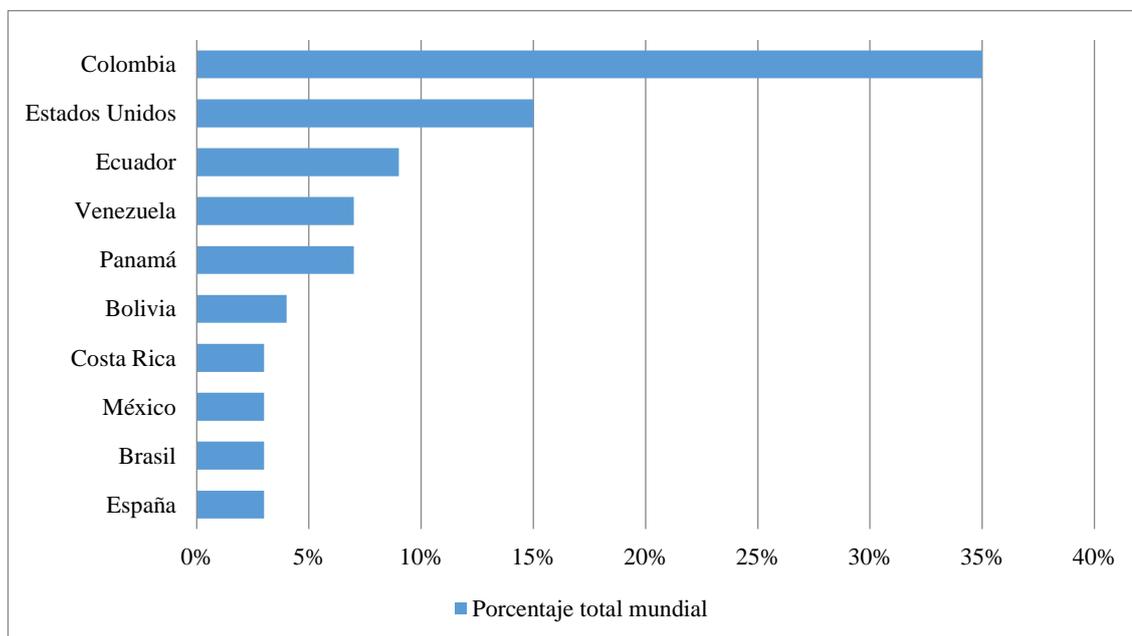


Figura 1 Países con más decomisos de cocaína

Fuente: (United Nations Office on Drugs and Crime, 2014)

Adaptado por: Byron Ramiro Arias Armijos

Para combatir contra el narcotráfico, el gobierno ecuatoriano ha implementado políticas y leyes para impedir y mitigar; además se debe tomar en cuenta que Ecuador ocupa el tercer puesto entre los 10 países con más decomisos de cocaína en el mundo y en antepenúltimo lugar entre los países consumidores de cocaína en América Latina según estadísticas de la United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) (Mizrahi, 2014) (Véase **Figura 2**).

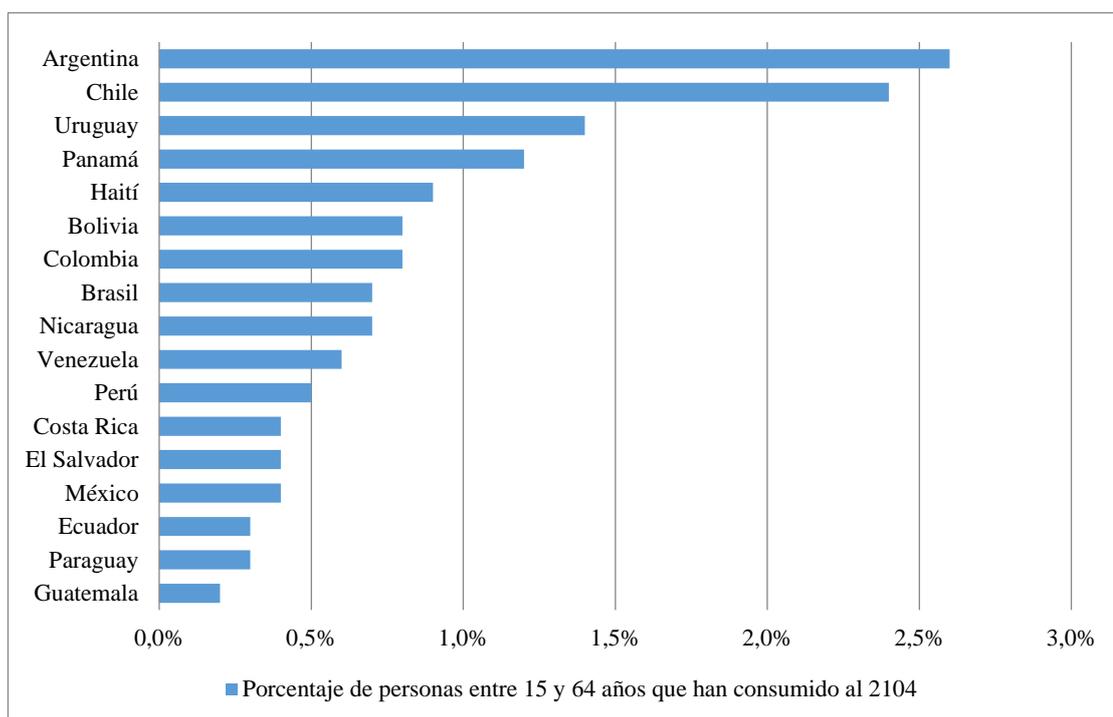


Figura 2 Consumo de cocaína en América Latina

Fuente: (United Nations Office on Drugs and Crime, 2014)

Adaptado por: Byron Ramiro Arias Armijos

Si bien el Ecuador requiere coordinar esfuerzos con otros estados para luchar contra el narcotráfico transnacional, es importante que el país defina su propia estrategia anti-narcóticos. No obstante, los múltiples acuerdos internacionales y la fuerte dependencia de fuentes internacionales de financiamiento limitan el margen de maniobra para la definición autónoma de una política anti-narcóticos (Espinoza, 2006). El grupo de la Policía Nacional Antinarcóticos con el apoyo de grupos de las Fuerzas Armadas, cuyas operaciones son realizadas por personal especializado para la detección de sustancias bases para la elaboración de sustancias ilícitas, no obstante, existen diversos escenarios

donde las detecciones de dichas sustancias resultan de mayor importancia y son las más utilizadas para esta actividad como lo son los aeropuertos, estaciones terrestres de buses y trenes, consulados, embajadas, instituciones públicas entre otros (Pomareda, 2013).

Según Furton (2001), La mayor parte de estos casos, el uso de animales adiestrados es muy utilizado como herramienta en la detección de sustancias ilícitas. 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 y entrenamiento especial (Véase **Figura 3**).



Figura 3 Agente policial y can realizando detección de droga

Fuente y elaboración: (Diario Expreso, 2014)

Debido a las limitaciones y el entrenamiento previo que presentan los canes adiestrados, se han realizado avances importantes relacionados con la detección de químicos que buscan mejorar la eficacia y rapidez con que se realiza una detección, de

esta manera los organismos de control se encuentran en una constante búsqueda de un sistema de detección eficiente (Corrado, 1995).

La habilidad de detectar e identificar correctamente sustancias químicas tiene un sin número de aplicaciones, desde procesos como control medioambiental, aplicaciones biomédicas, evaluación de la calidad en comida y bebidas, exploración de áreas donde se han dispersado sustancias tóxicas, hasta operaciones humanitarias y de seguridad. En todos estos procesos las muestras se extraen manualmente y se analizan posteriormente sin conocer la localización de la fuente química (Pomareda, 2013).

El sistema olfativo humano es muy complejo y ha sido investigado exitosamente; incluso en 2004 se le otorgó el Premio Nobel en Fisiología Médica a Richard Axel y Linda B. Buck por su trabajo sobre los receptores olfatorios y la organización del sistema olfatorio (Margin, 2004). De hecho, el poder percibir un aroma en particular involucra que la información química de la muestra sea codificada y enviada al cerebro para su interpretación. Los distintos aromas que se encuentran presentes en el ambiente no se encuentran conformados por una sola familia de compuestos, así mismo la percepción del olor deferirá de acuerdo a su composición. Es por esto que los aromas son mezclas holísticas cada una brinda una experiencia diferente, por ejemplo, la acetona (Quicazán, Díaz & Zuluaga, 2011).

Con el tiempo los avances tecnológicos han permitido el uso de narices electrónicas, esto comenzó en los años 60, con la empresa Bacharach Inc, misma que introdujo al mercado un dispositivo conocido como “Sniffer” que, poseía un sensor de gas. Luego en los años 80, surge dos grupos de investigadores, en la Universidad de Warwick en Gran Bretaña y en el Argonne National Laboratory (ANL) donde se realizó una primera publicación con respecto a narices electrónicas orientando sus estudios en comprender los procesos del olfato biológico, utilizando un conjunto de sensores semiconductores de óxidos metálicos (Moreno, Caballero, Galán, Matía & Jiménez, 2009).

Posteriormente, en Japón se comenzó a investigar la frescura de los pescados utilizando matrices de sensores MOX (sensores semiconductores de óxido metálico). Por lo tanto, en los tres continentes se inició el desarrollo de la tecnología de matrices de sensores olfativos en los años 80 (Stetter & Penrose, 2001). En la actualidad las

narices electrónicas no son solamente usadas para clasificaciones de aroma, sino también para la detección de olores. De ahí que su importancia y utilización se haya extendido a aplicaciones en la agroindustria, medio ambiente, la seguridad, y la medicina. A continuación, se recogen algunas investigaciones que se han realizado según el campo de aplicación de los sistemas olfativos artificiales (Moreno, Caballero, Galán, Matía & Jiménez, 2009).

En la agroindustria se encuentran temas como predicciones de estados de las frutas su solubilidad (Zhang, 2008), además de sardinas en la ciudad de Marruecos (Barbri, 2008) así como también la detección alimentos, específicamente aceite de oliva por aceite de avellana (Szkudlarz & Jelén, 2008). Entre otros trabajos de relevancia se puede resaltar a los que se enfocan a la detección de tipos de vinos, mediante una nariz electrónica que favorece a la discriminación de aquellos de menos concentración de uva (Aleixandre, 2008).

Otro de los ámbitos para la aplicación de sistemas olfativos artificiales es para determinar la contaminación ambiental, mediante una nariz electrónica capaz de oler los gases de un volcán (Díaz, 2006). Para la detección de contaminación causada por hongos en las bibliotecas se ha incluido elementos electrónicos que encuentren las fuentes de olor características de estos determinados hongos (Canhoto, 2004). La calidad del agua potable mediante una monitorización es otro de los proyectos e investigaciones que se han realizado (Gardneret, 2000). Por otro lado, el estudio de las emisiones de un río altamente contaminado con la ayuda de varios sensores e insumos para la localización (Lamagna, 2008).

Existen aplicaciones tan importantes como detectar el dióxido de carbono en la atmósfera o el gas refrigerante que se escapa, o su vez las mezclas que se pueden llegar a producir, detectar combustibles de aviones o automóviles, entre otros (Nagle, 2002). En relación al ámbito de la seguridad, la tecnología juega un papel importante para la detección de sustancias que son menos perceptibles por el ser humano bajo determinadas condiciones, entre las investigaciones más relevantes se encuentran, la inspección de contenedores, monitorización del aire en edificios de gobierno, focalización de contaminantes en el metro de Washington, descripción del aire

ambiental en aviones comerciales para detectar olores peligrosos o posibles amenazas de terroristas (Electronic Sensor Technology, 2007).

La detección temprana de explosivos y de sustancias estupefacientes es un hito que se requiere alcanzar en el área de seguridad, sobre todo aquellos mecanismos que tenga la capacidad de identificar y detectar explosivos o drogas en el menor tiempo posible siendo esto es de gran utilidad para la policía, organismos de control y la sociedad en general (Staples, 2007).

No se puede dejar de lado el ámbito de la medicina, donde investigaciones son utilizadas para mejorar el diagnóstico y monitorización de enfermedades potencialmente peligrosas. Existen aplicaciones como detección de infecciones en el tracto urinario y vaginosis bacteriana descartando que el futuro el ser humano pueda incurrir en enfermedades terminales como el cáncer (Persaud, 2006), así también existe estudios sobre la detección de componentes volátiles orgánicos en la respiración como marcadores del cáncer de pulmón, siendo un insumo para mecanismos de prevención y de política ambiental para los gobiernos (Miekisch, 2004) y (D'Amico, 2008).

En la actualidad, lo que se pretende en el campo de investigación de las narices electrónicas y robótica móvil es integrar estas áreas para tener la posibilidad de tener un dispositivo móvil con capacidad de detección de sustancias. Los robots equipados con un sistema artificial de olfato, tienen muchas aplicaciones, entre las cuales destacan la detección de situaciones peligrosas ya sea en ambientes industriales, detección de escapes de gas, drogas, explosivos, minas de tierra, como ya se ha mencionado antes y cabe mencionar que la diversidad de entornos hace que el movimiento del robot en la búsqueda de la fuente de olor necesite de algoritmos apropiados (Arjonilla, 2011).

En un trabajo previo desarrollado por (Gaibord & Mediavilla, 2016) se implementó un sistema robótico con la capacidad de detección de olores, en donde se integró un arreglo de dos sensores químicos TGS Figaro (2600 y 2602) sobre un sistema robótico móvil, y las pruebas fueron realizadas en un ambiente controlado sin obstáculos para localizar acetona y alcohol. En este caso el sistema robótico respondía de manera binaria a los estímulos de los olores; logrando localizar la fuente de olor 7 de cada 10

veces. A pesar de los resultados favorables, el prototipo tenía limitaciones de hardware y de localización. A nivel de hardware el sistema robótico no contaba con los sensores adecuados para evadir obstáculos y por lo tanto solo se podía usar en espacios abiertos volviéndolo poco práctico para un entorno real. En segundo lugar, el hecho de tener un arreglo de dos sensores vuelve al sistema “olfativo” poco diverso y poco específico para ser usado con otras sustancias, lo que limita la navegación y posterior localización (Véase **Figura 4**).

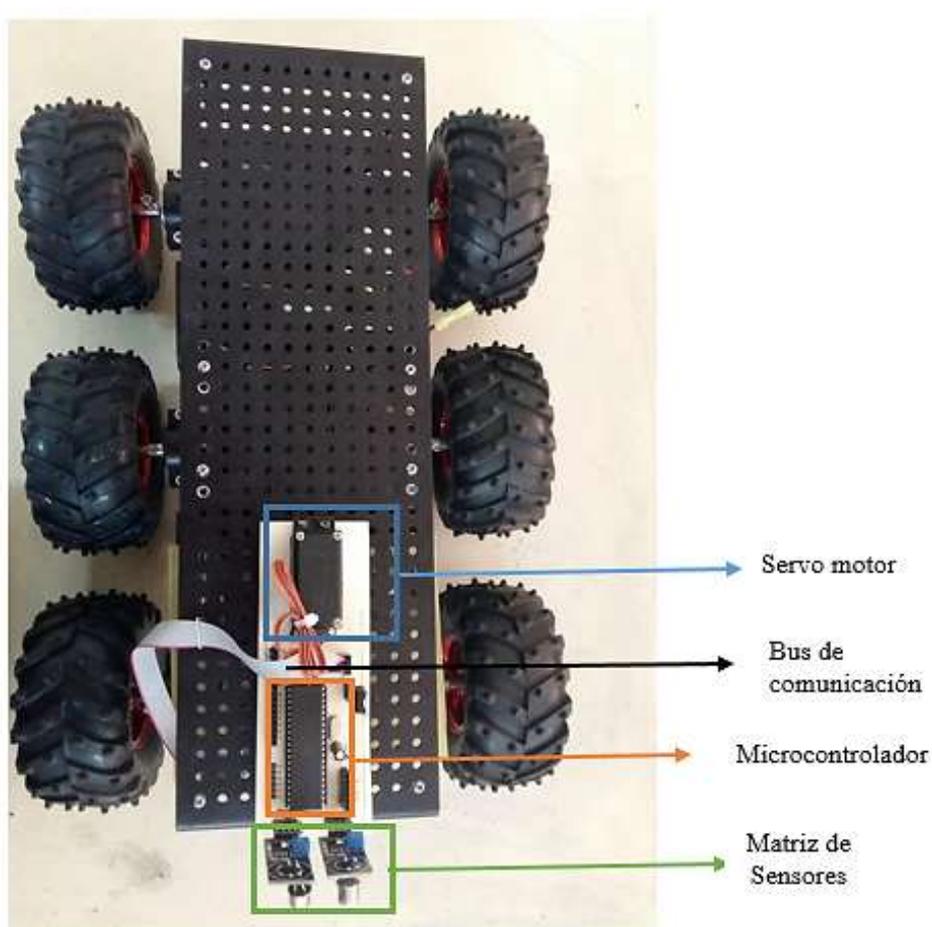


Figura 4 Proyecto de tesis sobre la nariz electrónica sobre un dispositivo móvil

Fuente y elaboración: (Gaibord & Mediavilla, 2016)

El presente proyecto, se enmarca como una segunda fase del proyecto anteriormente expuesto donde se utilizará el mismo sistema robótico mejorando la autonomía del sistema robótico dotándolo de varios sensores ultrasónicos, compás electrónica y cámara para evitar obstáculos, y la implementación de un algoritmo de localización

basado en redes neuronales. El algoritmo de localización será implementado en herramienta de programación libre Python, el cual contará con una cámara IP que mostrará los movimientos del robot y la posible localización de la fuente de olor. En esta etapa no se pretende que exista ningún algoritmo embebido en el robot, sino que se utilizará un ordenador que se encargará de procesar la información recibida por los diferentes sensores. Además, el sistema robótico móvil enviara información vía RF al ordenador, el cual registra y procesa mediante el uso de redes neuronales la posible ubicación de la fuente de olor y su concentración relativa en el ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar algoritmos de localización basado en redes neuronales para la detección de olores sobre un robot autónomo que sea capaz de detectar la intensidad de una sustancia en un ambiente controlado.

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar librerías propias de Windows a través de Python para la manipulación del robot de manera remota a través de una comunicación serial inalámbrica.
- Acondicionar el sistema robótico con la nariz electrónica y sensores ultrasónicos.
- Implementar visión artificial para detectar los obstáculos y las posibles fuentes de olor.
- Desarrollar algoritmos de localización basado en Redes neuronales artificiales para estimar la ubicación y concentración relativa en el ambiente de la fuente de olor.

1.4. Descripción general del proyecto

El presente proyecto pretende desarrollar un algoritmo basado en redes neuronales FeedForward que será desarrollado en software libre Python, para después implementado sobre un sistema robótico, el cual sea capaz de detectar la concentración relativa del olor en el ambiente. Los algoritmos escanearán el área en la que se encuentra el robot y a través de métodos estadísticos y visión artificial se estimará la correcta posición de la fuente de olor.

Este sistema robótico será utilizado en un ambiente controlado y el algoritmo de localización se ejecutará sobre un ordenador el cual proporcionará los recursos necesarios para el procesamiento. La información de los sensores a su vez deberá ser proyectada sobre un modelo de redes neuronales el cual indicará la existencia o no de la fuente de olor. La navegación será realizada por medio de algoritmos de visión artificial. En la **Figura 5** se observa el sistema robótico móvil dentro del ambiente controlado con obstáculos donde se realizarán las pruebas del sistema de navegación y localización. La ubicación de obstáculos y fuentes no será la misma para los diferentes escenarios de prueba. De forma general, el dispositivo móvil esquivará los obstáculos, situándose cerca a la posible fuente de olor mediante el uso de visión artificial, el cual ejecutará el algoritmo de localización basado en redes neuronales, mostrando un resultado si es o no una fuente de olor real, y su concentración relativa del olor en el ambiente.

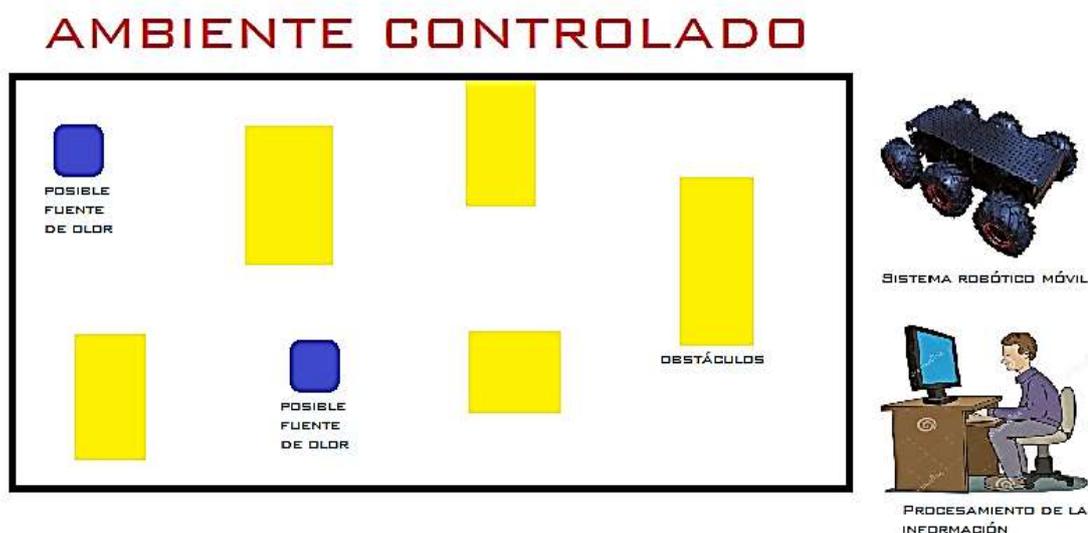


Figura 5 Funcionamiento esperado del algoritmo de localización

El proyecto se dividirá en varias etapas:

1. Acondicionamiento con sensores MQ, ultrasónicos, compás electrónico, batería LIPO, placa base de 32 bits Arduino DUE y modulo serial RF al robot DAGU Wild THUMPER (Capítulo III).
2. Configuración de la comunicación inalámbrica entre el sistema robótico con el ordenador. (Capítulo III).
3. Desarrollo del algoritmo de navegación para evadir obstáculos en Arduino para el control remoto del dispositivo robótico móvil (Capítulo IV).
4. Desarrollo del algoritmo de visión artificial para detección de obstáculos y posibles fuentes de olor (Capítulo IV).
5. Desarrollo de un algoritmo de localización basado en redes neuronales para la detección de la fuente de olor y su concentración en el ambiente (Capítulo IV).
6. Integración y prueba de los sensores y actuadores con los algoritmos implementados en el dispositivo móvil (Capítulo IV).
7. Pruebas de funcionamiento en un ambiente controlado con y sin obstáculos, con y sin fuentes de olor (Capítulo V).
8. Resultados y conclusiones (Capítulo VI).

Para la primera etapa del proyecto de investigación se realizará el acondicionamiento de sistema robótico móvil con sensores ultrasónicos, compás electrónico, comunicación inalámbrica de radio frecuencia (RF) y sensores químicos de la familia MQ los cuales proporcionarán autonomía para la eficiente detección de fuentes de olor y evasión de obstáculos (Capítulo III).

Para la segunda etapa se establecerá los parámetros y configuración para que exista una comunicación serial entre el dispositivo robótico móvil y el ordenador con Python, el cual será el encargado de la recolección y procesamiento de las señales provenientes del arreglo de nariz electrónica y de los sensores ultrasónicos alojados en el robot (Capítulo III).

Para la tercera etapa se desarrollará el control del sistema robótico mediante la implementación de un algoritmo de navegación basado en visión artificial capaz de evadir obstáculos y enviar información necesaria al microcontrolador montado sobre

el dispositivo móvil que sirva para la detección de la ubicación y concentración de la posible fuente de olor (Capítulo IV).

Para la cuarta etapa se desarrollará un algoritmo clasificador HSL de colores basado en visión artificial implementado en el ordenador, que permitirá obtener un monitoreo en tiempo real de lo que sucede con el robot dentro del ambiente controlado. Adicionalmente, permitirá al robot situarse cerca de las posibles fuentes de olor para su análisis (Capítulo IV).

Para la quinta etapa se desarrollará un algoritmo de localización basado en redes neuronales artificiales FeedForward, cuyos datos de entrada son los valores recopilados por los sensores químicos almacenados en tablas de Excel en el ordenador, y las salidas hacen referencia a la ubicación y concentración de la fuente de olor; el cual es un método muy utilizado como algoritmos de procesamiento de datos en las narices electrónicas (Capítulo IV).

Para la sexta etapa se realiza la integración y pruebas de funcionamiento de los diferentes sensores y actuadores que intervienen en el dispositivo móvil. Se probará el control del movimiento y recepción de la información proveniente de los sensores ultrasónicos, el compás electrónico y los sensores químicos de la familia MQ (Capítulo IV).

Para la séptima etapa se realizarán las diferentes pruebas de funcionamiento del dispositivo móvil con y sin obstáculos, con y sin fuentes de olor, donde se observarán y documentarán el desempeño del sistema (Capítulo V). Y en la etapa final se realizarán las conclusiones y recomendaciones correspondientes al presente trabajo de investigación (Capítulo VI).

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL

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: detección de olores por caninos, robótica móvil, nariz electrónica, visión artificial y redes neuronales para localización de olores.

2.1. Detección de olores por caninos

Los perros, poseen una diferente capacidad olfativa en comparación con otros animales, es así que a lo largo de los años el ser humano ha utilizado al perro para diferentes actividades, entre ellas detección de explosivos, reconocimiento de narcóticos (Véase **Figura 6**), búsqueda y rescate de personas; en la actualidad para la detección temprana de cáncer en seres humanos (Acero, Merizalde & Acero, 2011).



Figura 6 Control de envío de drogas en aeropuerto con can adiestrado

Fuente y elaboración: (Unidad Canina Sunat, 2013)

Es importante entender como el can tiene la habilidad para olfatear distintos químicos, por ello es importante entender el proceso de olfacción del can. El canino dentro de su nariz presenta una capa en la parte externa del tabique nasal llamada bulbo olfatorio y dentro de la cavidad nasal está el epitelio, que contiene millones de neuronas receptoras olfativas, o células nerviosas que están encargadas de detectar las sustancias odorantes (Loftus, 2007) (Acero, Merizalde & Acero, 2011).

Las células nerviosas son las encargadas de recibir moléculas odorantes y enviar información al cerebro donde se interpreta y ayuda al canino a procesar las reacciones que tendrá ante determinados olores. Además, en el sistema olfativo del can existen células madre que permiten generar neuronas o células de soporte; estas células madre son únicas y se reproducen constantemente creando treinta millones de nuevas neuronas olfativas en aproximadamente menos de un mes (Loftus, 2007).

Es importante recalcar que el porcentaje que tiene un can de células receptoras es superior a cualquier mamífero incluso más que las de los seres humanos permitiéndole detectar sustancias a concentraciones en el orden de las partes por trillón con excelente precisión. Además, las neuronas en los seres humanos no se pueden recuperar en el mismo rango (Loftus, 2007).

El proceso para la detección de un olor en la nariz del can se muestra en la **Figura 7**. Todo comienza cuando existe algún tipo específico de molécula odorante, este es reconocido por múltiples neuronas. Cuando una molécula de olor es capaz de activar la célula sensorial establece una secuencia de eventos en una proteína denominada receptor acoplado (G) (Loftus, 2007).

Por lo tanto, el sistema olfativo canino reconoce el aumento de la concentración de olores en el ambiente, esto puede reflejarse en cómo el cerebro percibe la información de acuerdo a la cantidad de moléculas existentes en el aire que posea el olor, y la capacidad del canino para el reconocimiento (Acero, Merizalde & Acero, 2011).

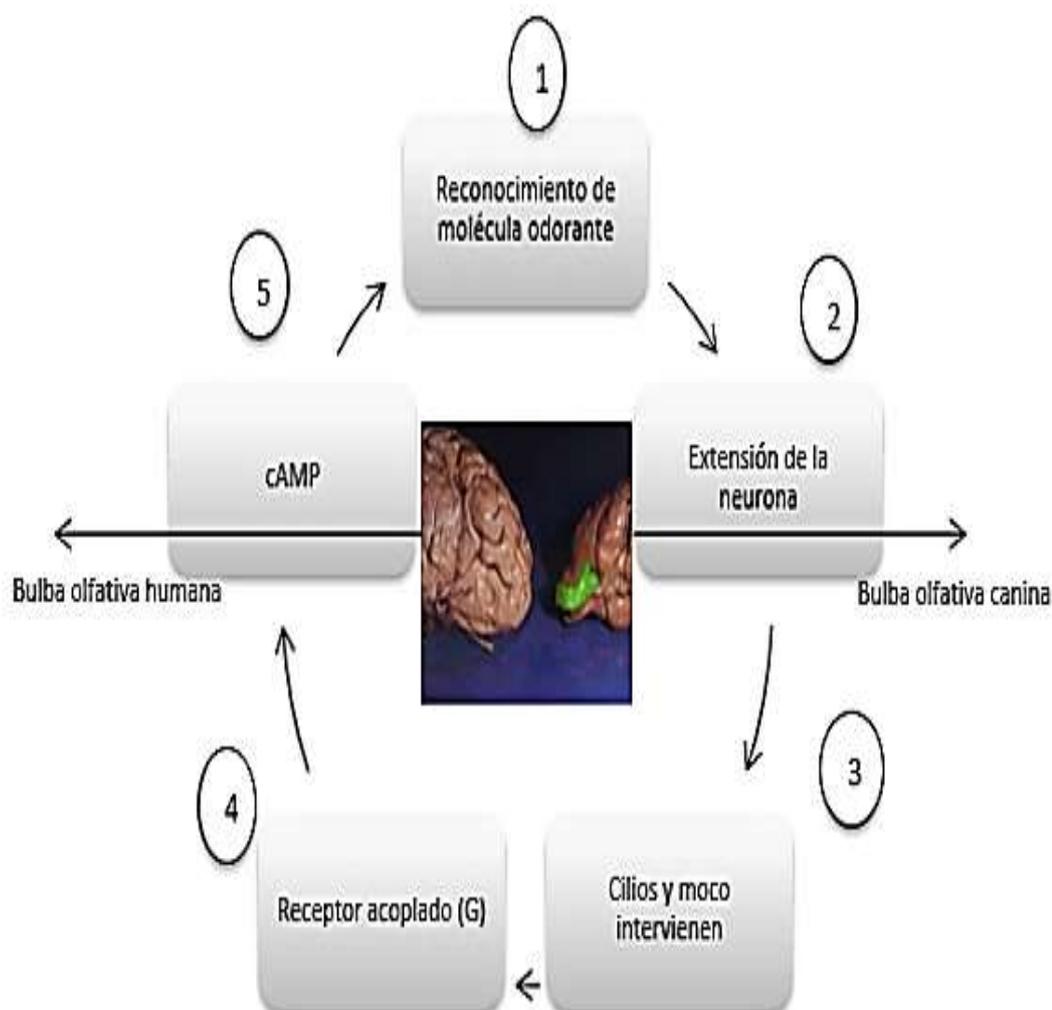


Figura 7 Proceso para la detección de olor en la nariz de un can

Fuente: (Loftus, 2007)

Adaptado por: Byron Ramiro Arias Armijos

2.1.1. Métodos de detección de olores

La Policía Nacional de Colombia (2011), en su “Guía para el entrenamiento de caninos al servicio de la Policía Nacional”, clasifica las funciones de los caninos en tres grupos: aquellos que son adiestrados para la detección de sustancias controladas como narcóticos, explosivos, divisas, tabaco y alcohol; los caninos detectores de olores humanos, búsqueda de personas, cadáveres, rastro y oteo; y finalmente los que son

para trabajo social, por ejemplo, para terapia con personas con discapacidad, relaciones públicas y caninos de defensa controlada.

Para el adiestramiento de sustancias controladas, que es el objetivo del presente trabajo, requiere de seis elementos fundamentales para asegurar la calidad de reconocimiento: el personal capacitado, infraestructura adecuada, material biológico, un plan de estudios actualizado, referencias teóricas y una evaluación correcta del componente canino (Policía Nacional de Colombia, 2011).

De todos los elementos requeridos es importante mencionar el recurso canino, ya que es el actor principal y depende de la raza, comportamiento, conformación y salud. La parte más importante sin lugar a dudas, es su olfato, por su capacidad discriminatoria por origen y tiempo dependiendo de las codificaciones de los receptores olfatorios. Se ha encontrado dos tipos de olfato, uno de baja frecuencia, corto, que consiste en el reconocimiento cuando se realiza una inspección cercana al objeto y el olfato de alta frecuencia, largo, que reconoce objetos a distancias mayores (Policía Nacional de Colombia, 2011).

El entrenamiento es necesario para comprender la importancia del uso de caninos para detecciones de sustancias y conocer sus reacciones a los estímulos. La memoria del canino se asocia a tres elementos, la mecánica, afectividad, asociatividad, esto quiere decir las capacidades para recordar movimientos anteriores y reproducirlos, los estados de ánimo y la capacidad de relacionar (Policía Nacional de Colombia, 2011).

El entrenamiento irá dirigido a reconocer la molécula solicitada y dejar de lado las otras que muchas veces pueden causar confusión, este proceso de adiestramiento se lo hace mediante incentivos (premios) para el can. Luego del proceso que consiste en reconocer los activos químicos que conforman los narcóticos, ya que actualmente las formas en que tratan de ocultar sustancias ilícitas varían (Loftus, 2007).

El proceso de entrenamiento del canino se divide en tres etapas: el estudio y comprensión de los principios de aprendizaje, los estímulos del entorno y su reacción ante ellos (Policía Nacional de Colombia, 2011). Tal como se observa en la **Figura 8** El aprendizaje del canino se lo clasifica en seis elementos fundamentales que son: el dominio, la impronta, la habituación, el temporal, el espacial y el social.

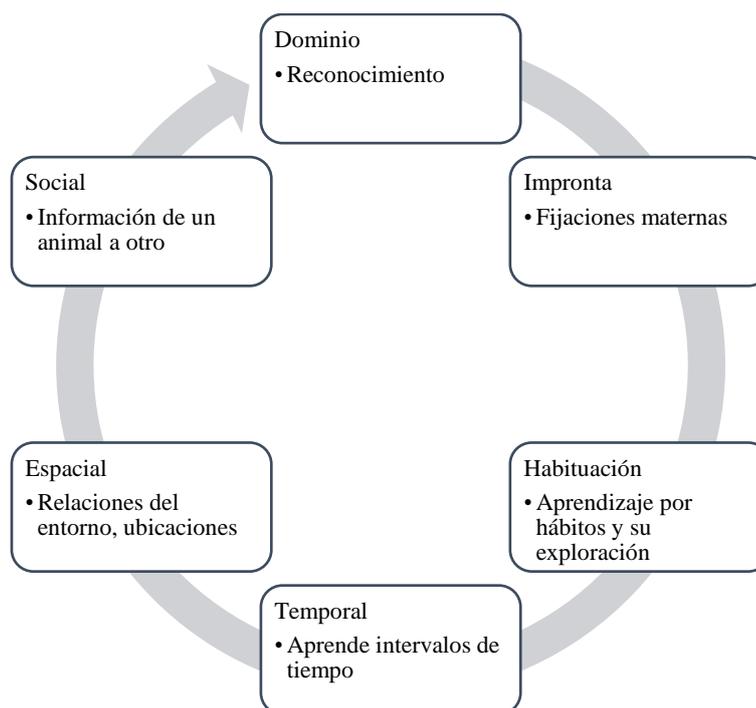


Figura 8 Elementos para el aprendizaje canino

Fuente: (Policía Nacional de Colombia, 2011)

Adaptado por: Byron Ramiro Arias Armijos

En una primera etapa el entrenamiento para la detección de sustancias corresponde a ejercicios de obediencia básica, mediante métodos pedagógicos en el determinado lugar de trabajo reconocido por el canino, sentarse, echarse, permanencia sentado o echando y parado, acudir al llamado y salto de obstáculos son algunos de los comandos utilizados para esta etapa (Policía Nacional de Colombia, 2011).

Una segunda etapa de potenciación de impulsos con un aprendizaje y equilibrio del carácter canino, la imitación, estimulación en todos los sentidos empezando de fácil a difícil y de conocer elementos a no conocer. Los principios para esta etapa son: el área de preparación donde el guía dispone de los insumos para el entrenamiento, el punto de partida donde el can obedece una vez lanzado el mordedor, el punto de contacto que corresponde a un tiempo donde el canino vuelve a su guía para un refuerzo de la acción solicitada y finalmente la culminación de los ejercicios, donde el guía volverá a traer el mordedor hasta el punto de inicio y volver a comenzar esta fase (Policía Nacional de Colombia, 2011) (Véase **Figura 9**).



Figura 9 Ejercicio de entrenamiento en detección de sustancias

Fuente: Archivo Escuela de Guías y Adiestramiento Canino

Adaptado por: (Policía Nacional de Colombia, 2011)

Finalmente, la última etapa corresponde a subir el grado de dificultad mediante ejercicios que permitan una fácil detección, el guía otorga el espacio para que el canino realice los ejercicios evaluando su desempeño. La dificultad varía ya sea con obstáculos, en zonas altas, bajas o subterráneas, con emisión de sonido, superficies lisas, en vehículos, entre otros (Véase **Figura 10**).



Figura 10 Otorgamiento del espacio por guía hacia can

Fuente: Archivo Escuela de Guías y Adiestramiento Canino

Adaptado por: (Policía Nacional de Colombia, 2011)

El éxito de la detección de olores dependerá del desarrollo de cada uno de los impulsos. Por tanto, el adiestramiento del can permite que pueda discriminar un

compuesto de otros presentes en el aire; sin embargo, el can puede confundirse por la complejidad del escenario de trabajo, para ello el entrenador o instructor puede identificar formas para eliminar la confusión y llevar la detección al éxito. (Loftus, 2007).

2.2. Nariz electrónica

La nariz electrónica es una herramienta relativamente nueva que ha tenido diversos usos como, por ejemplo, el monitoreo de procesos que el ser humano no puede percibir y que demanden demasiado tiempo. Además de ser elemento inteligente que esta originalmente diseñado para detectar y discriminar varios olores que se encuentran en el ambiente o a su vez pueden ser de tipo químicos, entre otros (Sayeed & Suhail, 2011). En 1982, el primer mecanismo para la detección de olores realizaba detecciones de gas para aplicaciones industriales basándose en un reconocimiento temprano de muestras orgánicas y no de componentes químicos individuales dentro de una mezcla volátil (Acosta, 2013).

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 (Correa, Barreiro & Ruiz-Altisent, s.f.).

La nariz electrónica, incluye tres partes principales, un sistema que entrega la muestra, un sistema de detección y por último un sistema computarizado para procesar la información. El primero consiste en un espacio parecido a una cabeza que cumple con la función de receptar los compuestos volátiles de una muestra que activan el filtro de carbón. El segundo que corresponde al sistema de detección, consiste en un sensor que se considera la parte reactiva de la nariz, funciona al momento que los compuestos

volátiles, son receptados; y la última parte se presenta cuando se da una respuesta específica que se registra por la interfaz electrónica, la señal es transformada en un determinado valor digital que pasa a la PC (Sayeed & Suhail, 2011) (véase **Figura 11**).

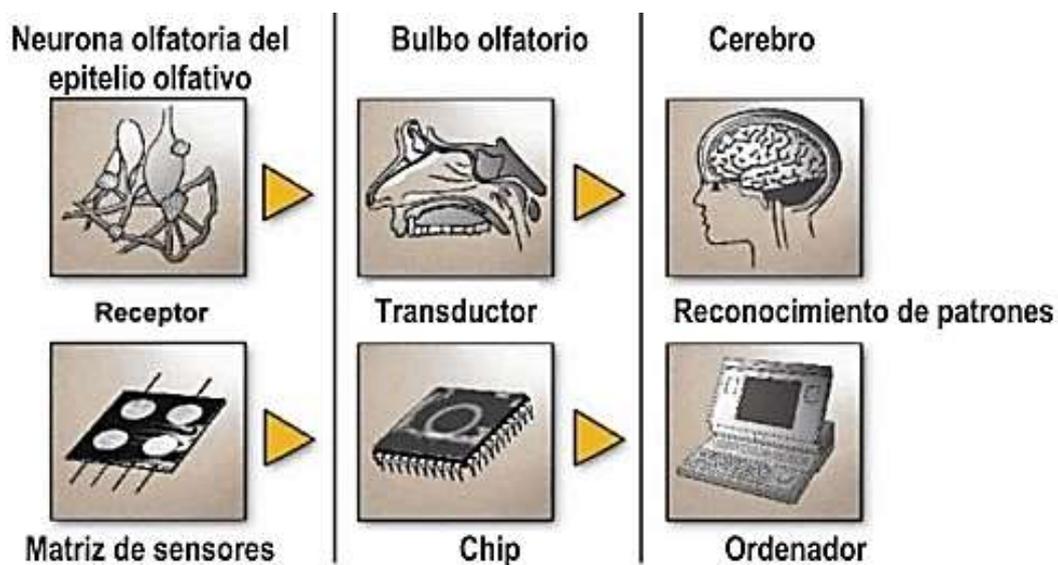


Figura 11 La nariz electrónica y el sistema del olfato humano

Fuente y elaboración: (Correa, Barreiro, Ruiz-Altisent, s.f.)

Se debe mencionar que la nariz electrónica en realidad está compuesta por una matriz de sensores que reaccionan a los compuestos volátiles y cada sensor de la matriz se selecciona para ser sensible a todas las moléculas. Sin embargo, no existen gran variedad de sensores para identificar todas las moléculas, por lo cual las narices electrónicas son más sensibles que específicas. Se ha desarrollado varios modelos de narices electrónicas como son, por ejemplo, los semiconductores de óxido metálico, otros que usan cromatografía de gases, entre otros destinados a detectar unos determinados olores químicos (Sayeed & Suhail, 2011).

La nariz electrónica artificial, es sin duda un instrumento rápido, sencillo y poco invasivo de detección e identificación de un sin número de compuestos volátiles complejos y productos químicos individuales. Cabe mencionar que ciertos olores se reconocerán de manera más fácil que otros debido a las perturbaciones presentes en el ambiente (Acosta, 2013).

2.2.1. Sensores químicos de dióxido de estaño de la familia MQ

El sensor químico se encuentra dividido en dos partes: el primero es un receptor que reconoce molecularmente o de manera iónica un determinado componente de interés en la muestra, y el segundo un elemento instrumental que se conoce como transductor donde la señal es procesada. El funcionamiento empieza cuando un compuesto químico de la muestra es reconocido por el receptor, este proceso se transformará en una señal eléctrica, esto lo realiza el transductor. La señal eléctrica es luego amplificada, acondicionada, procesada y presentada como dato para posteriormente ser analizada por el investigador (Alegret, Del Valle & Merkoci, 2004:14) véase en la **Figura 12**.

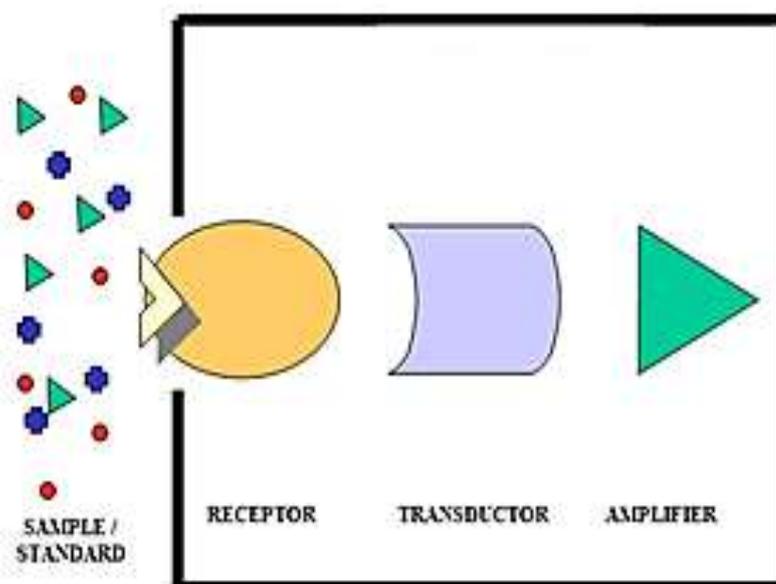


Figura 12 Estructura interna de un sensor químico.

Fuente y elaboración: (Biosensores, s.f.)

Las dimensiones reducidas, robustez, facilidad para su manejo y la manera en como brinda información analítica confiable en una manera continua son las características de este tipo de sensores. A los sensores también se los conoce como quimiosensores cuando el elemento reconocido proviene sintéticamente y los biosensores cuando el reconocimiento se lo realiza mediante un proceso bioquímico; adicionalmente, con el desarrollo tecnológico existen otros denominados biomiméticos cuya tecnología se basa en el grabado molecular sobre polímeros estables (Pividori, 2008:1).

Los sensores de gases MQ son una familia de dispositivos diseñados para detectar la presencia de distintos componentes químicos en el aire. Existe una gran variedad de sensores MQ en el mercado y cada modelo está diseñado para detectar una o más sustancias en el ambiente. En esta investigación se utilizarán los modelos MQ-2, MQ-3, MQ-4 y MQ-135.

Los sensores MQ están compuestos por un sensor electro-químico que varía su resistencia al estar en contacto con las sustancias. Todos los modelos MQ disponen de un calentador necesario para elevar la temperatura del sensor, y que sus materiales adquieran la sensibilidad. Dichos sensores suelen encontrarse sobre una placa de medición estándar con un comparador, que permite obtener un valor analógico de la medición, como un valor digital cuando este supera un cierto umbral regulado a través de un potenciómetro (Lamas, 2016). (véase **Figura 13**):



Figura 13 Sensor químico MQ

Fuente y elaboración: (Lamas, 2016)

A continuación, se muestra una tabla resumen con los distintos modelos de sensores químicos de la familia MQ empleados en el presente trabajo de investigación (Véase **Tabla 1**), mostrando las características principales de los gases a los que son sensibles, el voltaje de operación del calentador y el consumo de corriente de cada uno de los diferentes sensores.

Tabla 1

Características principales de modelos de sensores MQ

Modelo	Características
MQ-2	Tiene alta sensibilidad a GLP (Gas Licuado de Petróleo), Propano, Metano y otros vapores combustibles. Posee un voltaje de operación de 5V y un consumo de 800 mW (Pololu, s.f.).
MQ-3	Tiene alta sensibilidad al Alcohol, Etanol y humo. Posee un voltaje de operación de 5V y un consumo de 800mW (Pololu, s.f.)
MQ-4	Tiene alta sensibilidad al Metano, Propano y Butano, baja sensibilidad para el alcohol. Posee un voltaje de operación de 5V y un consumo de 800mw (Pololu, s.f.)
MQ-135	Tiene alta sensibilidad al Alcohol, Benzeno, humo y CO ₂ . Posee un voltaje de operación de 5V y un consumo de 800mW (Olimex, s.f.)

Los sensores MQ poseen un encapsulado recubierto por una malla de acero inoxidable que protegen a los receptores químicos del mismo. Los sensores tienen 3 pines de salida y una fuente de alimentación para el calefactor, aunque actualmente existen módulos que integran todo el acondicionamiento de los sensores químicos para una fácil conexión y aplicación (Pololu, s.f.).

Como se observa en la **Figura 14**, V_H es la tensión de operación de la calefacción que regula la temperatura del sensor para un correcto funcionamiento. Generalmente cuando existe un cambio químico en el sensor se producirá una variación de la resistencia R_L , que producirá una tensión V_{RL} con el principio de divisor de voltaje entregando la señal de respuesta (Pololu, s.f.).

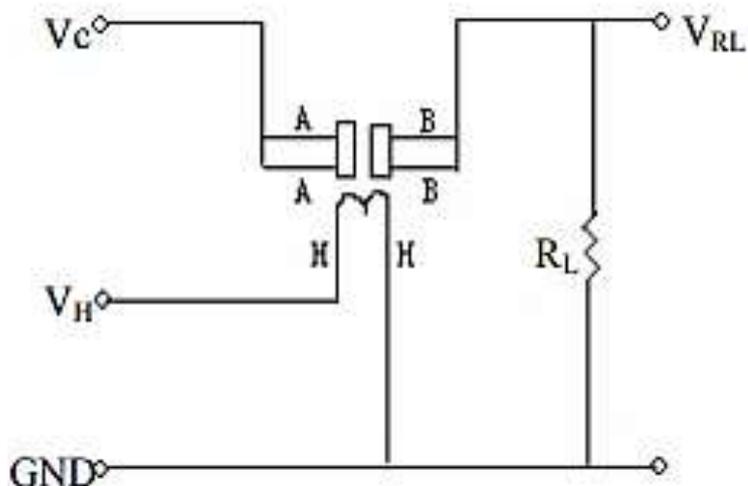


Figura 14 Circuito equivalente de los sensores químicos MQ

Fuente y elaboración: (Pololu, s.f.)

Las curvas típicas de estos sensores en donde el eje Y está representado por una relación de resistencias y el eje X indica las partes por millón de concentración de gas, muestran la variación de tensión V_{RL} para los diferentes químicos dispersos en el ambiente como pueden ser: dióxido de carbono (CO_2), alcohol, propano, gas licuado de petróleo (GLP), entre otros (Véase **Figura 15**).

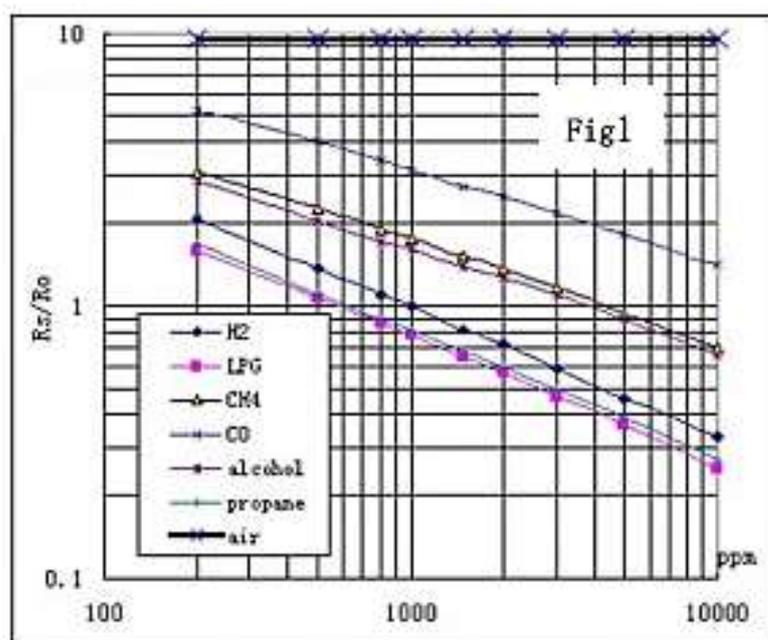


Figura 15 Curva típica de los sensores de gases

Fuente y elaboración: (Pololu, s.f.)

2.3. Robótica móvil

El desarrollo de robots móviles surge como parte de la expansión de la robótica que inicialmente se encontraba limitado 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). Tiene sus inicios en los años ochenta, donde el aumento tecnológico en temas computacionales, desarrollo de nuevos sensores, mecanismos y diferentes sistemas de control evolucionan y permiten su desarrollo (Ollero, 2001:9).

Un robot móvil es aquel que puede desplazarse de manera autónoma o tele-operada sobre distintos ambientes. Como se muestra en la **Figura 16**, el principal inconveniente es la generación de trayectorias y movimiento a partir de la información adquirida de sensores, dando como resultado el movimiento entre dos puntos geográficamente distantes evadiendo los obstáculos (Bambino, 2008).

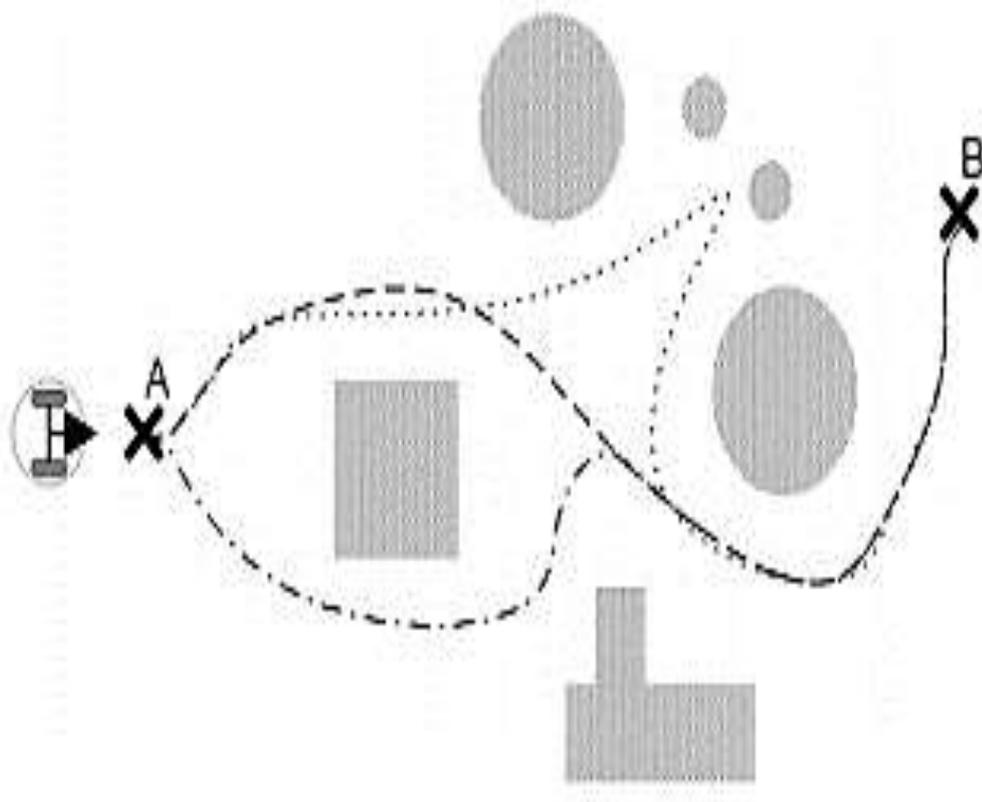


Figura 16 Posibles trayectorias que puede seguir un robot móvil.

Fuente y elaboración: (Bambino, 2008)

La clasificación de la robótica móvil se centra en tres aspectos importantes: de acuerdo al grado de manejo del operador, al ambiente en que se desarrollan y al sistema de locomoción. En función del grado de manejo que tiene una persona con el robot, se puede a su vez clasificar como autónomo o teleoperado. En cambio, de acuerdo al ambiente en que se desarrollan se pueden clasificar como marinos, terrestres, aéreos y espaciales; y de acuerdo a su sistema de locomoción se clasifican en desplazados por ruedas y caminantes (Alfaro, 2006). Este trabajo se centra en el uso de robots terrestres, teleoperados y autónomos, cuyo sistema de locomoción se basa en el uso de ruedas.

Los robots teleoperados son todos los dispositivos móviles cuyo funcionamiento se basa en la planificación, manipulación y percepciones del entorno, sin embargo, a lo largo del tiempo y con desarrollos tecnológicos de sistemas que brindan retroalimentación sensorial del entorno, estos robots son útiles para la localización remota donde muchas veces son de difícil acceso y es necesario la automatización (Ollero, 2001:12).

El robot móvil tiene un nivel de autonomía en función al sistema de navegación que utilice, cuyo sistema debe incluir tareas como planificación, percepción y control; es decir, que deberá tener suficiente inteligencia para reaccionar y tomar decisiones considerando su entorno. La planificación es uno de los problemas más importantes, debido a que se requiere determinar la misión, ruta, trayectoria y evitar los obstáculos no esperados (Ollero, 2001:9). Existe un sin número de metodologías para el cálculo de trayectorias para robots móviles, las técnicas utilizadas pueden variar entre técnicas de descomposición de espacio en celdas, uso de restricciones con niveles de resolución y búsqueda específica (Ollero, 2001:10).

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). Un claro ejemplo de un robot móvil es el “Curiosity” que fue lanzado a Marte en el año 2011, cuya misión es evaluar la existencia de un ambiente capaz de apoyar a las pequeñas formas de vida llamados microbios en Marte (NASA, 2012) (véase **Figura 17**).



Figura 17 Robot de exploración marciana Curiosity

Fuente y elaboración: (NASA, 2012)

Todos los dispositivos móviles son de ayuda para los procesos que dificultan ser realizados por ser humano, con el paso del tiempo cada vez se requiere de menos intervención del operario para la supervisión de dichos procesos, los errores que presenten los robots van disminuyendo conforme la adaptabilidad a los entornos junto a una retroalimentación sensorial (Ollero, 2001:12).

Las aplicaciones de la robótica móvil, integrando sensores químicos pueden ir desde encontrar fuentes 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 (Senanayake, 2014).

2.3.1. RF para el control remoto del robot.

Las comunicaciones inalámbricas se han convertido en algo cotidiano para la sociedad moderna. El término tecnología inalámbrica reúne varias técnicas que permiten la comunicación entre varios dispositivos sin la necesidad de emplear un cable para su conexión y en lugar de ello utilizar el aire como medio de transmisión (González, Pérez, Daza & Carrillo, 2012).

Hoy en día casi todas las comunicaciones se realizan de forma inalámbrica, es por esta tendencia que surge la necesidad de desarrollar componentes electrónicos capaces de enviar y recibir información sin estar conectados el uno con el otro utilizando el aire como medio de transmisión, estos elementos electrónicos son el transmisor y el receptor (Rivas, s.f.). (Véase **Figura 18**).

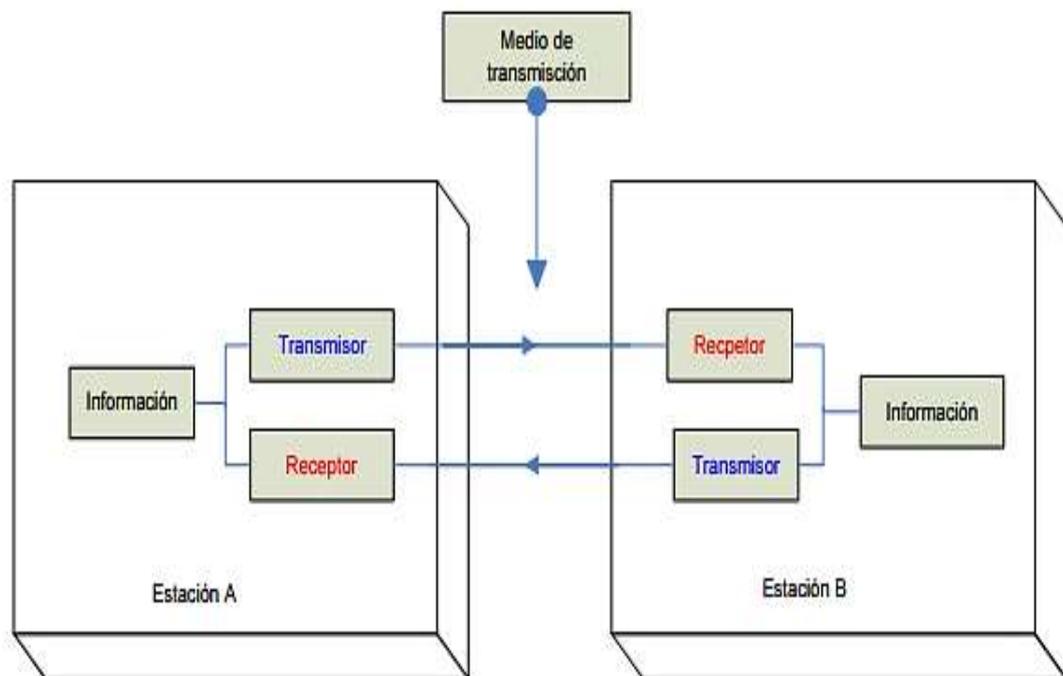


Figura 18 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación bidireccional

Fuente y elaboración: (Rivas, s.f.)

El transmisor RF es un dispositivo que transmite información a grandes distancias en forma de ondas electromagnéticas, estas ondas son transmitidas en el rango de 3Hz a 300GHz. (Rivas, s.f.). En los sistemas de comunicaciones electrónicas posee las siguientes características fundamentales (Véase **Figura 19**):

- Generar la señal portadora.
- Modular la señal portadora con el mensaje.
- Amplificar la señal modulada con el mensaje.
- Efectuar el filtrado de la señal modula antes de ser radiada por la antena.

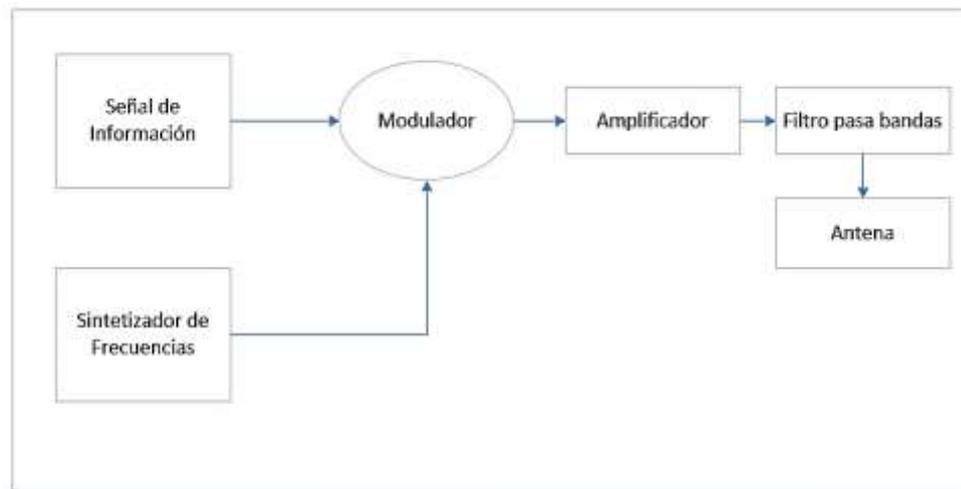


Figura 19 Diagrama de bloques de un transmisor

Fuente: (Rivas, s.f.)

Adaptado por: Byron Ramiro Arias Armijos

Los receptores RF interceptan una señal de radio mediante la antena, amplifican la señal recibida, la de-modulan y luego la reproducen con la misma modulación con que fue enviado. Los distintos modelos difieren en la forma de como procesan internamente la señal original y en los circuitos empleados para tales efectos (Rivas, s.f.). (Véase **Figura 20**).

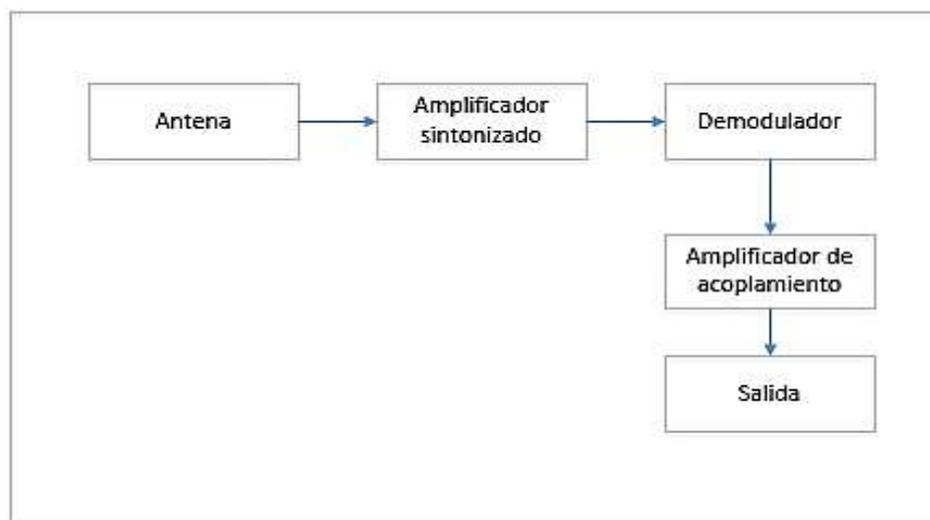


Figura 20 Diagrama de bloques de un receptor

Fuente: (Rivas, s.f.)

Adaptado por: Byron Ramiro Arias Armijos

2.4. Algoritmos de navegación y localización de olores

En la robótica móvil existe una amplia investigación dedicada al desarrollo de algoritmos y sistemas de navegación autónoma, tanto en ambientes controlados como en terrenos desconocidos (Siegwart & Nourbakhsh, 2004), cuyo estudio abarcan técnicas como:

- Fusión sensorial.
- Visión artificial.
- Sistemas cooperativos.
- Manejo en tiempo real de eventos aleatorios.
- Sistemas de comunicaciones, entre otros.

El control de navegación se enfoca principalmente en integrar todas las técnicas anteriormente mencionadas dentro de un robot móvil con el objetivo de conseguir robots autónomos que construyan sus propias trayectorias en tiempo real y en cualquier ambiente que este se encuentre asemejándose a la realidad (Siegwart & Nourbakhsh, 2004).

En este caso, la visión artificial es un elemento de un sistema multisensorial implementado en el dispositivo móvil, cuya información procedente de los distintos sensores y de la visión artificial es analizada para finalmente ser ejecutada. La información que pueda extraerse con la implementación de visión es de gran ayuda para conseguir el movimiento del robot (Gonzales, s.f.).

En cambio, las redes neuronales se utilizan en amplias aplicaciones de procesamiento de datos, donde se requiera la extracción y análisis de la información en tiempo real. Una de las principales ventajas de las redes neuronales es que su mayor carga computacional se da en la etapa de entrenamiento. Una vez que la red neuronal se entrena para una tarea en específico, puede identificar de manera rápida muestras desconocidas (Ludemir & Yamazaki, 2003).

El conjunto de datos de entrenamiento se utiliza para configurar la red neuronal, con el objetivo de aprender la relación existente entre los patrones del arreglo de sensores y las respuestas que representan estos datos. Esta combinación entre sistemas de sensores químicos y redes neuronales se conoce como nariz electrónica o nariz

artificial (Kubiak, 2003). Además, se han realizado diferentes investigaciones sobre narices electrónica en varios ámbitos

Diversos autores han desarrollado narices electrónicas que incorporan redes neuronales artificiales para aplicaciones que involucran el monitoreo de olores en alimentos y bebidas, control automático de sabores presentes en alimentos procesados, así como cuantificar los componentes individuales de los gases dispersos en el ambiente (Schaller, 1998).

2.4.1. Navegación a través de reconocimiento del color usando

Modelos HSL

La definición de visión artificial conforma un campo de la ingeniería, esta tecnología moderna junto a técnicas especializadas en el uso adecuado de algoritmos referentes a visión, las cuales proporcionan a los investigadores el procesamiento y análisis de todo tipo de información proveniente del ambiente recopilada de imágenes digitales en tiempo real (Etitudela, 2017).

Los sistemas de visión artificial han evolucionado poco a poco a medida que la tecnología ha evolucionado y permitido la creación de cámaras, computadoras y algoritmos de procesamiento más potentes. De forma básica un sistema de visión artificial está conformado por varios subsistemas capaces de realizar dos funciones fundamentales: captar la información de la escena real y analizar las imágenes para extraer la información (Arévalo, Zúñiga & Villegas, 2015).

El mayor peso del análisis de las imágenes captadas se encuentra a nivel de software, ya que con ellas se realizan operaciones aplicando filtros que modifican sus características fundamentales, empleando un ordenador para su tratamiento se proporciona una mayor flexibilidad en cuanto al procesamiento de los distintos algoritmos capaces de detectar diferentes niveles de color y objetos (Arévalo, Zúñiga & Villegas, 2015).

Una opción interesante al momento de emplear algoritmos de reconocimiento de color es la utilización de las características del color para el seguimiento visual, debido a su simplicidad y robustez ante dificultades como oclusiones parciales y cambios de

escala. Existen varios problemas a tratar, entre los más importantes se destaca la constancia del color (Finlayson, 2000). El modelo de color juega un papel importante en la precisión computacional y la robustez del sistema.

El modelo HSL, por sus siglas en inglés, define el espacio de color con tres características: tono (Hue), saturación (Saturation) y luminosidad (Luminance) (Véase **Figura 21**). Este modelo es considerado un modelo "natural", ya que se acerca a la percepción fisiológica del color. (Aristondo, 2010).

La saturación corresponde a la pureza del color que se calcula como la proporción de la luz pura de longitud de onda dominante y la luz blanca necesaria para definir un color. Un color 100% puro tiene una saturación del 100% y no contiene luz blanca. Colores que se alejen del color puro contienen una mezcla entre la luz blanca y el color puro comprendida entre el 0% y 100% (Aristondo, 2010).

La luminosidad es la cantidad de luz que tiene un color determinado. Cualquier color con una luminosidad del 100% será el color blanco. En cambio, si presenta un valor de 0% de luminosidad se tratará del color negro. En cambio, el tono es la longitud de onda dominante del color que vemos, generalmente sería cada uno de los colores en “estado puro”, como los colores del arcoíris (Aristondo, 2010).

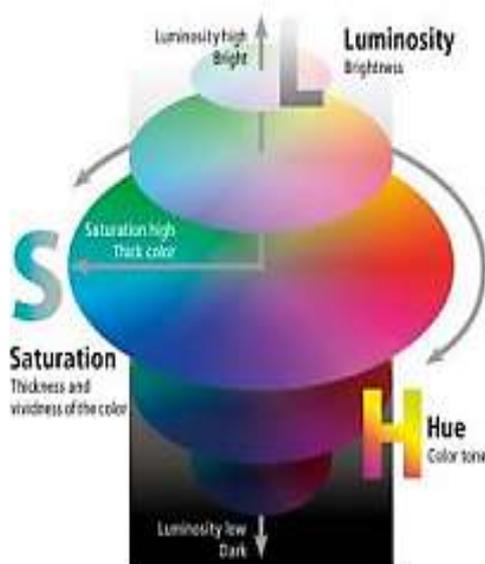


Figura 21 Modelo de color HSL

Fuente y elaboración: (Aristondo, 2010).

En la presente investigación se implementó un algoritmo basado en modelos HSL para detectar la presencia de objetos considerados como potencialmente peligrosos, por motivos académicos se planteó el color azul para la localización. El resto de objetos con un color distinto representan los obstáculos que el robot móvil debe evadir para llegar su objetivo. Para que los pixeles sean considerados de color azul tienen que cumplir las características presentadas en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Composición HSL del color azul

Tono (H)	Saturación (S)	Luminosidad (L)
(130-177)	>90	20-175

Fuente: (Aristondo, 2010)

Adaptado por: Byron Ramiro Arias Armijos

Se puede observar en la **Figura 22** el resultado de aplicar el filtro correspondiente al color azul, cuya aplicación se emplea para la detección de posibles fuentes de olor en un ambiente controlado que serán representadas por obstáculos de dicho color posicionando al dispositivo móvil cerca de la posible fuente de olor para posteriormente proceder al análisis de las componentes químicas en el ambiente.

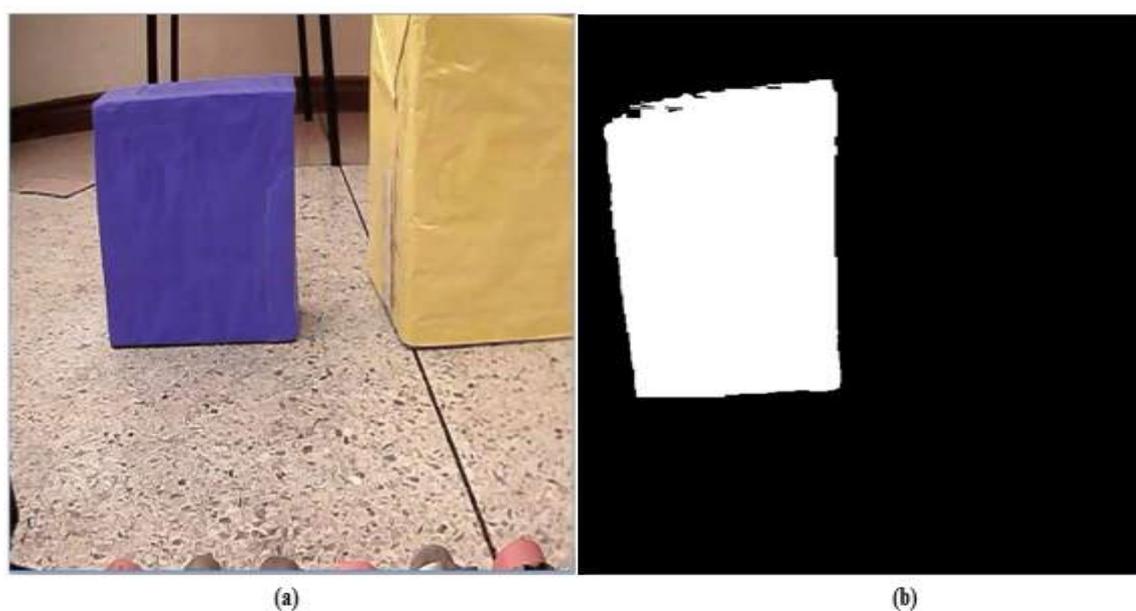


Figura 22 (a) Imagen capturada por la cámara y (b) Imagen filtrada para el color azul

2.4.2. Localización de fuente de olor usando redes neuronales para localización de olores

Existen mecanismos que facilitan la detección temprana de olores, con la ayuda de ciertos algoritmos el rastreo de la fuente de olor se realiza de una manera más eficiente tomando en cuenta ciertas condiciones como la dirección y velocidad del viento, como también el ambiente, la temperatura, y otros elementos que se deben considerar para una detección más exacta (Acosta, 2013).

La cantidad y complejidad de los datos extraídos de los sensores químicos representa un obstáculo al momento de analizarlos de manera convencional, debido a la gran cantidad de información que se recolecta de los sensores químicos. Utilizando redes neuronales para el reconocimiento de patrones todo se reduce a la matriz de entrenamiento para su análisis (Berna, 2010).

Han aparecido distintas técnicas que facilitan el procesamiento de datos, las cuales clasifican los olores y describen la interacción de compuestos volátiles, dentro de estas técnicas se encuentran las redes neuronales. Los algoritmos de redes neuronales son muy utilizados debido a que su desempeño se asemeja a redes neuronales biológicas, y no requieren un conocimiento previo de las características de los datos a procesar ni los mecanismos que lo producen (Acosta, 2013).

Las redes neuronales están formadas por un número variable de unidades de cálculo conectadas entre sí, llamadas neuronas, cuya respuesta se va adaptando conforme a la salida deseada. Para que las redes funcionen correctamente necesitan una etapa de aprendizaje, llamada entrenamiento, los datos correspondientes a un compuesto o mezcla de compuestos son mostrados repetidamente a la red que modificará sus parámetros y desarrollará una especie de memoria olfativa (Cruz & Reyes, s.f.).

El modelo matemático de una neurona artificial se puede representar con una neurona simplificada por un valor de activación, una lista de su sinapsis (Comunicación entre Neuronas) y sus pesos asociados. Los aportes individuales de cada neurona hacen parte de una respuesta global en el resultado final proveniente de las salidas de la red neuronal (Percy & Oniel, 2003). (véase **Figura 23**)

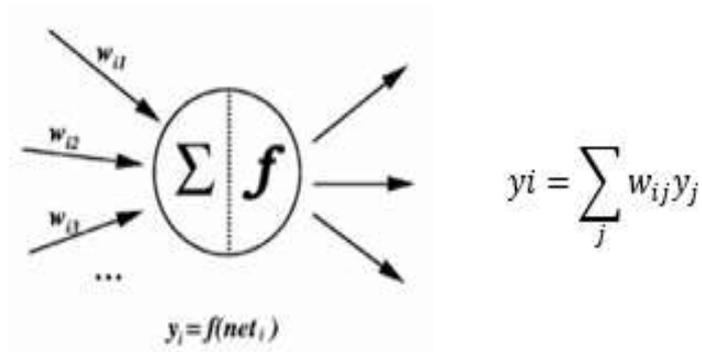


Figura 23 Modelo matemático neurona artificial

Fuente y elaboración: (Percy & Oniel, 2003)

Las redes neuronales están constituidas por neuronas interconectadas y arregladas en varias capas de acuerdo a sus aplicaciones. Los datos ingresan por medio de la “capa de entrada”, pasan a través de la “capa oculta” que puede estar constituida por varias capas y salen por la “capa de salida” que dan el resultado final del sistema (Matich, 2001) (véase **Figura 24**).

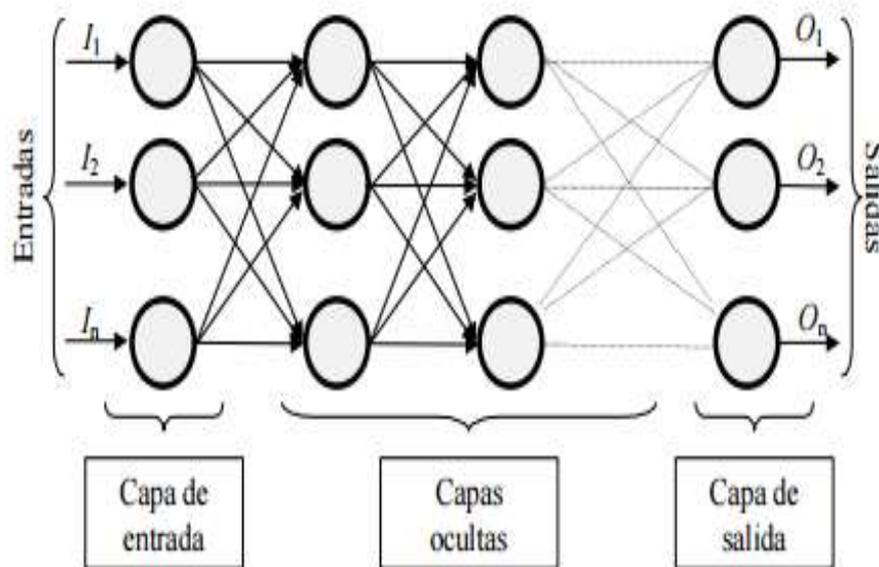


Figura 24 Ejemplo de una red neuronal totalmente conectada

Fuente y elaboración: (Matich, 2001)

Cada señal de entrada pasa a través de una ganancia o peso, estos pueden ser positivos o negativos, el nodo sumatorio acumula todas las señales de entrada multiplicadas por sus respectivos pesos y las pasa a la salida través de una función de transferencia, en la **Figura 25**, se observa el recorrido de un conjunto de señales que entran a la red neuronal (Percy & Oniel, 2003).

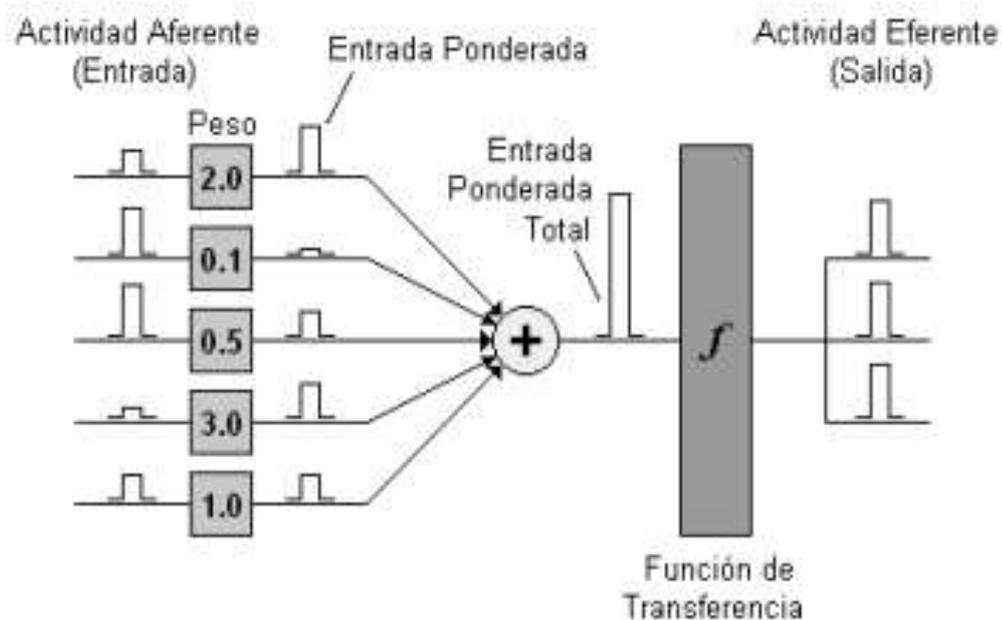


Figura 25 Proceso de una red neuronal

Fuente y elaboración: (Percy & Oniel, 2003)

Debido a su constitución y fundamentos matemáticos, las redes neuronales presentan un gran número de características semejantes a la del cerebro como aprender de la experiencia, generalizar casos anteriores a nuevos casos, extraer características esenciales a partir de las entradas, etc. Esto hace que ofrezcan múltiples ventajas como el aprendizaje adaptativo, la auto-organización, la tolerancia a fallos y la Operación en tiempo real (Matich, 2001).

Dentro de los múltiples algoritmos de redes neuronales artificiales destaca la topología "Feed-Forward", ya que con un entrenamiento de retroalimentación y una capa oculta son aproximadores universales de modelos reales. Eso quiere decir que con un entrenamiento adecuado se puede interpolar cualquier relación entre el vector de entrada y el de salida (Brezmes, 2001).

Estas características hacen que este tipo de redes neuronales sean muy utilizadas como algoritmos de procesamiento de datos en las narices electrónica (Gardner, 1990). Hay que tener en cuenta que las interacciones entre mezclas gaseosas pueden contener centenares de componentes y los sensores químicos son procesos extremadamente difíciles de comprender y modelar. Por lo tanto, es importante tener un grupo de medidas suficientemente representativo para evitar generar modelos poco generalistas (Brezmes, 2001).

CAPÍTULO III

ACONDICIONAMIENTO Y COMUNICACIÓN CON EL ROBOT

En este capítulo se detalla el proceso de selección y acondicionamiento de la estructura mecánica del robot móvil con un microcontrolador Arduino DUE de 32bits con distintos actuadores y sensores como: servo motor, driver motor DC, módulo de 4 relés, sensores ultrasónicos, compás electrónico y sensores químicos MQ. Adicionalmente se implementa baterías LIPO para extender el tiempo de funcionamiento operativo del robot y una cámara IP para la transmisión de imágenes; incluyendo el proceso de comunicación inalámbrica de la plataforma móvil mediante RF y la cámara IP mediante Wifi al ordenador.

3.1. Elección de la estructura mecánica del dispositivo móvil

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

- Carga promedio mínima de 3Kg: Debido a la necesidad de acoplar una carga mínima aproximada de 3Kg, conformada por: 3 baterías LIPO, cámara IP, sensores y actuadores aproximadamente de 2.5Kg en conjunto. Además, es necesario que la estructura mecánica sea capaz de soportar 1Kg adicional para futuras modificaciones y desarrollo.
- Facilidad de montaje con la estructura: Con la finalidad de que el hardware y el cableado se adapte de manera fija a la estructura mecánica esta debe poseer ranuras (slots) para su instalación.
- Movilidad todoterreno: Para una etapa final en el desarrollo del dispositivo móvil este puede ser utilizado en campo abierto donde el terreno no necesariamente es regular.

- Operación continua de 2 horas: El funcionamiento del robot necesita garantizar un tiempo similar o superior al que ofrece un can adiestrado.



Figura 26 DAGU Wild THUMPER 6WD

Fuente y elaboración: (DAGU, 2013)

De acuerdo a lo planteado y considerando que en una investigación anterior se implementó un sistema de nariz electrónica conformado por dos sensores químicos Figaro sobre la plataforma móvil DAGU WILD THUMPER 6WD (véase **Figura 26**) (DAGU, 2013) en este presente trabajo se plantea el uso de la misma estructura cuyas características se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3

Características del robot DAGU WILD THUMPER 6WD

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	350mA
Voltaje nominal	2.5V – 7.5V

Fuente: (DAGU, 2013)

Adaptado por: Byron Ramiro Arias Armijos

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

Número de motores = 6

Batería: 7.4V 7.5Ah

Corriente de hardware = 1000mA

Corriente de cámara = 500mA

Corriente de cada motor = 350mA

$$Tiempo\ de\ uso = \frac{7.5Ah}{(6 * 0.35A) + 1A + 0.5A} = 2\ horas$$

Tiempo de uso = 2 horas

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

3.2. Acondicionamiento del dispositivo móvil con el microcontrolador, cámara IP, sensores y actuadores.

En esta etapa se describe el proceso de acondicionamiento de las etapas de potencia, control y sistema de visión artificial de acuerdo a lo especificado en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Etapas de acondicionamiento del robot DAGU WILD THUMPER 6WD

ETAPA	ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Etapa de potencia	-3 Baterías LIPO -Driver motor DC -2 conversores DC-DC -Módulo de 4 relés	- 7.4V 2.5A c/u - 6V-30V 8A - 1.2V-37V 3A - 220V 10A
Etapa de control	-Microcontrolador Arduino DUE de 32bits -Módulo RF APC220 -8 sensores ultrasónicos hc-sr04 -6 sensores químicos MQ -Compás electrónico GY-271 -Servo motor	-5V 300mA -5V 200mA -5V 250mA -5V 300mA -5V 200mA -5V 300mA
Etapa de visión artificial	-Cámara inalámbrica WIFI	-5V 500mA

La conexión de todas las etapas que intervienen en el presente proyecto de investigación se realizan de forma modular, ya que cada elemento posee su instrumentación electrónica integrada en cada uno de sus módulos, la ubicación y la interconexión de cada uno de los módulos se detalla en el siguiente esquema (véase **Figura 27**).

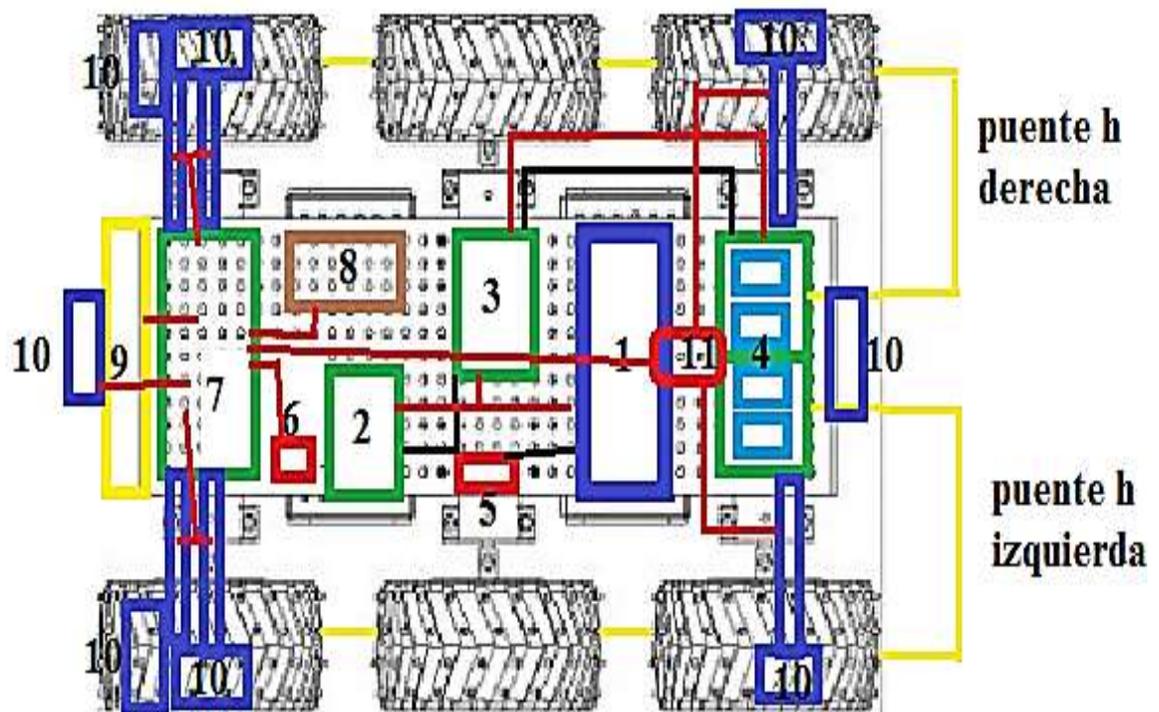


Figura 27 Esquema general, donde (1) Baterías LIPO, (2) Conversores DC-DC, (3) Driver motor DC, (4) Módulo 4 relés, (5) Switch (ON/OFF), (6) Compás electrónico, (7) Arduino DUE, (8) Servomotor, (9) Arreglo de sensores químicos, (10) Sensores ultrasónicos y (11) módulo RF,

3.2.1. Etapa de control

La etapa de control es un punto clave en el funcionamiento final del dispositivo móvil, es la encargada de la adquisición de información proveniente de los sensores químicos, compás electrónico y ultrasónicos; las cuales intervienen en el algoritmo para la navegación de obstáculos, y de establecer una comunicación inalámbrica RF con el ordenador para el intercambio de información. En esta etapa se integran al microcontrolador todas las conexiones provenientes de los sensores y actuadores, además de su correcta polarización con el voltaje regulado de 5V proveniente del

regulador de voltaje DC-DC. Cuya conexión se muestra en el la **Figura 28** y las especificaciones técnicas se detallan en **Tabla 5**.

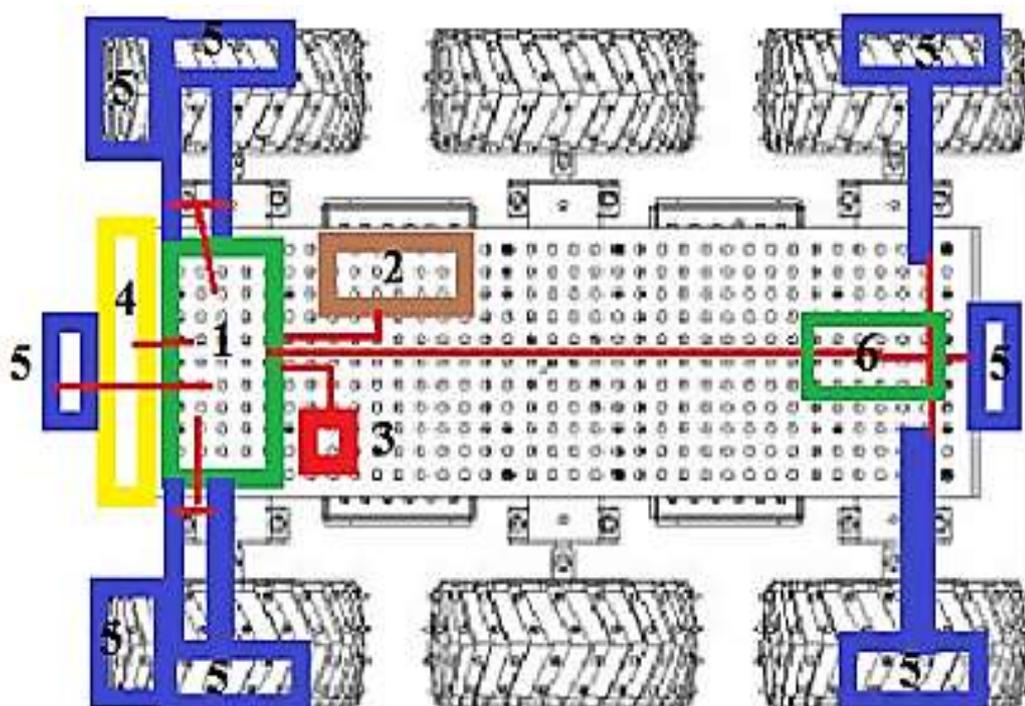


Figura 28 Etapa de control, donde (1) Arduino DUE (2) Servomotor (3) Compás Electrónico (4) Arreglo de sensores químicos, (5) Sensores Ultrasónicos y (6) módulo RF

Tabla 5

Requerimientos etapa de control

COMPONENTE	REQUERIMIENTO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
8 Ultrasónicos HR-SC04	16 pines I/O digitales	Rango 3cm-400cm
Módulo 4 relés (pines de control)	4 pines I/O digitales	5V para activación de la bobina
1 Servo motor	1 pin I/O digital	Giro 0°-180°
6 sensores químicos MQ	6 pines I/O analógicos	0V-3.3V señal analógica
1 Compás electrónico	Pines comunicación I2C (SCL y SDA)	0V-3.3V señal digital
1 Modulo serial RF	Pines comunicación serial (TX, RX)	0V-3.3V señal digital

Hay dos formas de controlar remotamente al dispositivo móvil, de manera manual donde la operación del robot se la realiza mediante el uso de un joystick, dirigiendo el robot hacia la fuente de olor basándose en la información que proporciona la cámara; o de manera automática donde el robot realizará el movimiento hacia la fuente del aroma esquivando obstáculos sin la intervención de un operario.

En el modo automático los sensores ultrasónicos, sensores químicos y compás electrónico son las variables de entrada que recibe el microcontrolador, y a su vez este procesa y transmite al ordenador la información actuando directamente sobre el servomotor y pines de control del módulo de relés para generar las acciones y movimientos del dispositivo móvil. El diagrama de control de funcionamiento en lazo cerrado se muestra en la **Figura 29**.

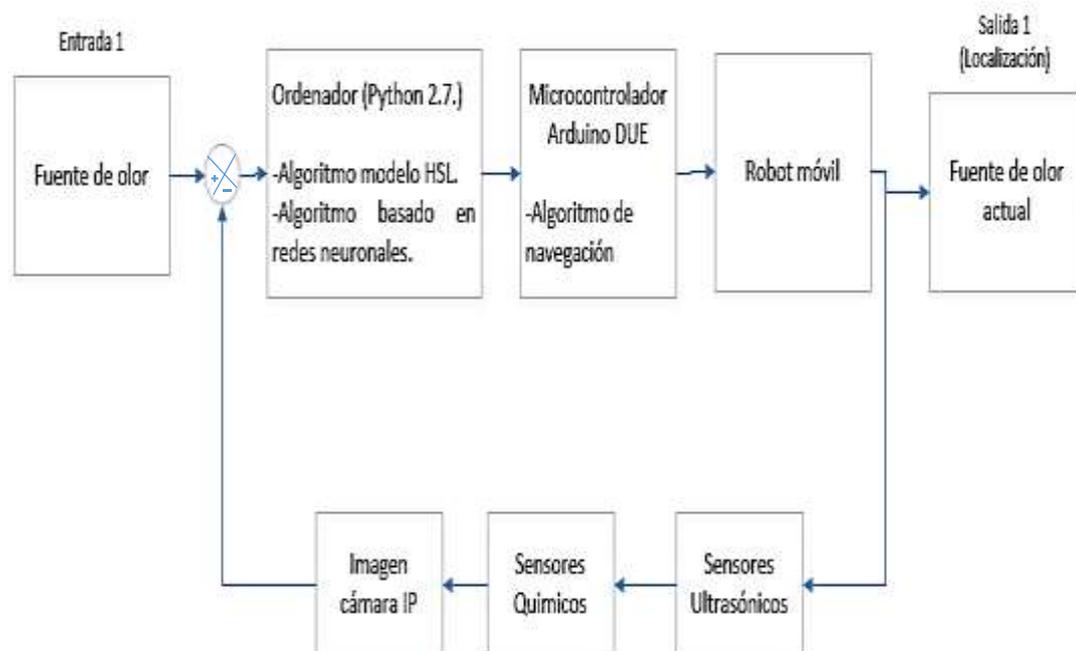


Figura 29 Diagrama de control de funcionamiento en lazo cerrado

De acuerdo a la **Tabla 5** se observa que es necesario que el microcontrolador tenga 21 pines I/O digitales, 6 pines I/O analógicos, comunicación I2C y comunicación serial. Arduino DUE maneja 54 pines I/O digitales, 12 pines I/O analógicos, 2 puertos de comunicación I2C y 4 comunicaciones tipo UART serial (ARDUINO, s.f.), la cual cumple con los requerimientos necesarios para la implementación de todos los

componentes electrónicos y otorga al dispositivo móvil la capacidad de mejoras futuras.

El microcontrolador Arduino DUE (véase **Figura 30**) se basa en tecnología Atmel ARM de 32 bits con 84Mhz en velocidad de reloj, posee una memoria flash de 512KB y SRAM de 96KB, ideal para aplicaciones con un alto nivel procesamiento e integración de hardware y software como los requerimientos del presente proyecto de investigación (ARDUINO, s.f.).

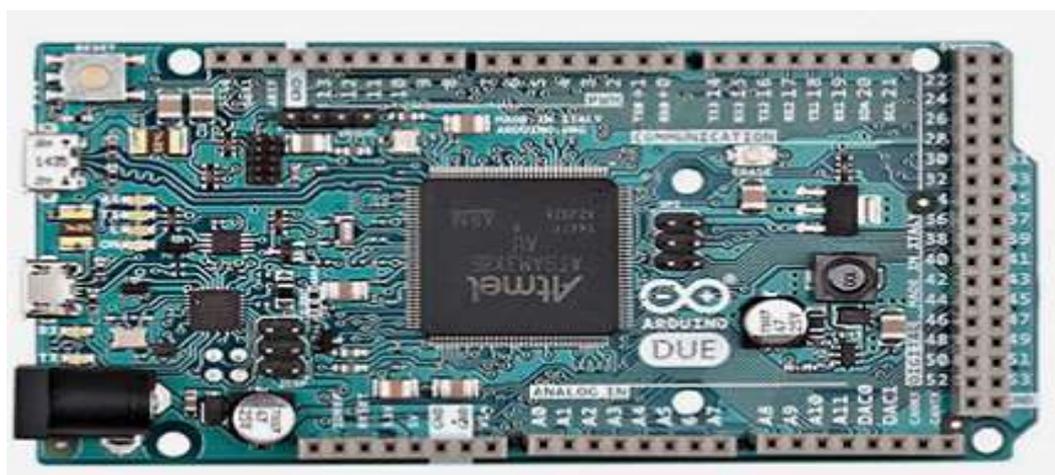


Figura 30 Arduino DUE

Fuente y elaboración: (ARDUINO, s.f.)

Las conexiones de los diferentes elementos electrónicos a los pines del Arduino DUE se detallan en la **Tabla 6**.

Tabla 6

Detalle de conexión de los pines del microcontrolador

Componente electrónico	Pines de conexión
Servomotor	Pin 2
Compás electrónico	SDA pin 20, SCL pin 21
Módulo serial RF	TX pin 14, RX pin 15
Arreglo de sensores químicos MQ	Pin A0, Pin A1, pin A2, pin A3, pin A4 y pin A5
Sensores ultrasónicos	Pines (24 y 25), pines (26 y 27), pines (8 y 29), pines (36 y 37), pines (38 y 39), pines (40 y 41), pines (42 y 43) y pines (44 y 45)
Módulo 4 relés	Pines (30 y 31) y pines (32 y 33)

Al Arduino DUE se conectan todos los componentes electrónicos montados sobre el dispositivo móvil. El cual se encarga de recibir las instrucciones de operación proveniente del ordenador de manera remota, controlando la velocidad y sentido de desplazamiento del robot, posicionándolo cerca de las fuentes de olor transmitiendo los valores medidos de los sensores químicos al ordenador para su procesamiento y análisis. El diagrama de bloques de control de la plataforma móvil se muestra en la **Figura 31**.



Figura 31 Esquema control de la plataforma móvil

Para una correcta evasión de obstáculos, se dispuso de ocho sensores ultrasónicos distribuidos de manera estratégica en la estructura del robot. Tres módulos al frente (izquierda, centro y derecha), dos a cada extremo de los laterales del mismo y uno en la parte posterior; con el propósito de ofrecer una detección sin puntos ciegos. Tomando en cuenta la altura del dispositivo móvil y la ubicación de los sensores que cubren las esquinas (véase **Figura 32**), se definió que la altura mínima de los obstáculos debe ser de 10cm para una correcta detección y evasión.



Figura 32 Altura de sensores ultrasónicos laterales

Los sensores ultrasónicos utilizan la ecolocalización que va desde el transmisor y rebota en un objeto que regresa al emisor, en un rango de funcionamiento que va desde los 2cm hasta los 400cm con un ángulo de inclinación no mayor de 15 grados para su correcto funcionamiento. El voltaje de trabajo es de 5V con un consumo de corriente de 15mA y una frecuencia de trabajo de 40HZ (Véase **Figura 33**) (ElecFreaks, s.f.).



Figura 33 Sensor Ultrasónico HR-SC04

Fuente y elaboración: (ElecFreaks, s.f.)

después de detectar los posibles obstáculos con los sensores ultrasónicos, el dispositivo móvil procederá a rodearlos, utilizando el compás electrónico para los giros, sensor ampliamente utilizado en sistemas de navegación y UAVs (Vehículo aéreo no tripulado) (RobotPark, s.f.). El compás electrónico está diseñado para detectar precisamente los cambios del campo magnético en los 3 ejes y enviarlos mediante una interfaz de comunicación I2C al microcontrolador (véase **Figura 34**). Cuyo objetivo principal es el de registrar la ubicación magnética del dispositivo móvil (al frente, derecha, atrás e izquierda) para la navegación y evasión de obstáculos.

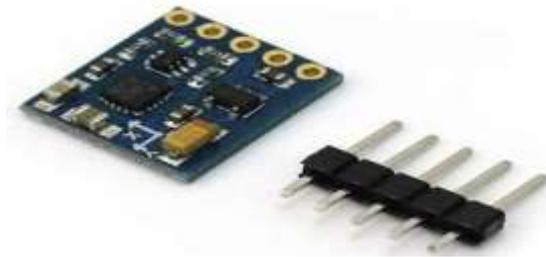


Figura 34 Compás electrónico GY-271

Fuente y elaboración: (RobotPark, s.f.)

Al detectar una posible fuente de olor, se envía al ordenador los valores medidos por la nariz electrónica que está conformada por 6 sensores de la familia MQ: MQ-1, MQ-2, 3 MQ-3, 1 MQ-4, 1 MQ-135. Los cuales formaran una matriz de sensores de 6x1 distribuidos tal como se muestra en la **Figura 35**. La nariz electrónica está ubicada en la parte frontal del dispositivo móvil, cuyo objetivo principal es captar los volátiles localizados de la fuente y enviarlos de forma remota al ordenador para proyectar los datos en el modelo de red neuronal.



Figura 35 Arreglo de sensores químicos MQ, donde (1) MQ-3 derecha, (2) MQ-2, (3) MQ-3 centro, (4) MQ-4, (5) MQ-135 y (6) MQ-3 izquierda

La comunicación RF usa el módulo APC220, donde se conecta uno de los módulos al microcontrolador en una interfaz TTL y el otro módulo al ordenador utilizando el convertidor TTL/USB que viene en el kit con los módulos APC220. El voltaje de operación ideal es 5V con un consumo de corriente de 35mA, las frecuencias de trabajo se encuentran en el rango de 431Mhz a los 478Mhz con velocidades de transmisión desde los 1200 bps para largar distancias y 19200 para distancias no mayores de 1000 metros (DFRobot, 2008) (véase **Figura 36**).



Figura 36 Módulo RF APC220

Fuente y elaboración: (DFRobot, 2008)

3.2.2. Etapa de visión artificial

La visión artificial aumenta la maniobrabilidad y control del dispositivo móvil, ya que una imagen suministra al sistema de control una mayor cantidad de información sobre el ambiente que los sensores convencionales. Obteniendo las características esenciales de la imagen para realizar una posible clasificación de los obstáculos en dos grupos dependiendo de su color.

La visión complementa la etapa previa de control, entregando una mayor robustez al sistema para la detección y clasificación de los obstáculos. Seguido de la detección de un posible obstáculo por los sensores ultrasónicos, el dispositivo móvil envía un comando al ordenador para la generación de filtros de color azul en la imagen, detectando de esa manera si el obstáculo es una posible fuente de olor o no.

El diagrama de bloques del funcionamiento de la etapa de visión artificial dentro del control de la plataforma se muestra en la **Figura 37**. En el caso que se detecte un obstáculo con los sensores ultrasónicos, el robot móvil envía el comando de verificación para que el ordenador realice la detección del color, y el comando de comprobación para que el robot se posicione cerca del obstáculo. Caso contrario, si no es una posible fuente de olor, el ordenador la instrucción para que se esquive el obstáculo y se prosiga con la búsqueda.

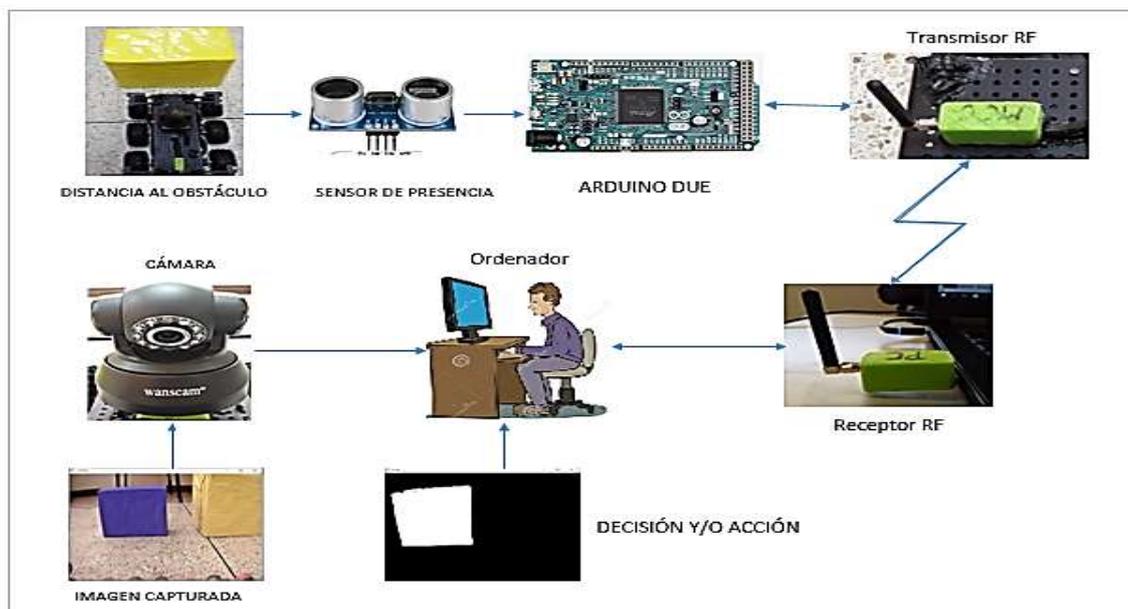


Figura 37 Esquema de funcionamiento de la plataforma móvil

Sobre la estructura del robot se implementó una cámara IP inalámbrica de 5V de operación como se muestra en la **Figura 38**, dotando al dispositivo móvil la capacidad de monitorizar y clasificar las posibles fuentes de olor y obstáculos presentes en el ambiente controlado, mejorando la maniobrabilidad para la detección de fuentes de olor con la plataforma móvil.



Figura 38 Cámara IP inalámbrica

La cámara IP inalámbrica se conecta de manera automática a un router, que en este caso aloja a la red Wifi llamada DAGU 2, cuyo propósito es permitir el intercambio de información proveniente del ambiente de manera remota a través de la conexión

entre el ordenador y la cámara mediante la siguiente dirección IP 192.168.1.2 como se observa en la **Figura 39**.



Figura 39 Acceso cámara IP 192.168.1.2

3.2.3. Etapa de potencia

La etapa de potencia es un punto clave en la adaptación y control de movilidad del dispositivo móvil, debido a que se encarga de proporcionar el voltaje necesario para el funcionamiento de la cámara y para el resto de componentes electrónicos; además de controlar la velocidad y sentido de giro en los motores. Para el montaje de la etapa de potencia sobre la estructura mecánica del robot se empleó bases o recubrimientos de plástico PLA elaborados en una impresora 3D.

El movimiento de la plataforma robótica está compuesto en las siguientes dos fases: (i) La que realiza los giros apoyándose sobre la superficie donde se desplaza el robot y (ii) La de propulsión donde la configuración del robot gira sobre sí mismo y no mientras avanza. La conexión de la etapa de potencia se detalla en el siguiente esquema (véase **Figura 40**).

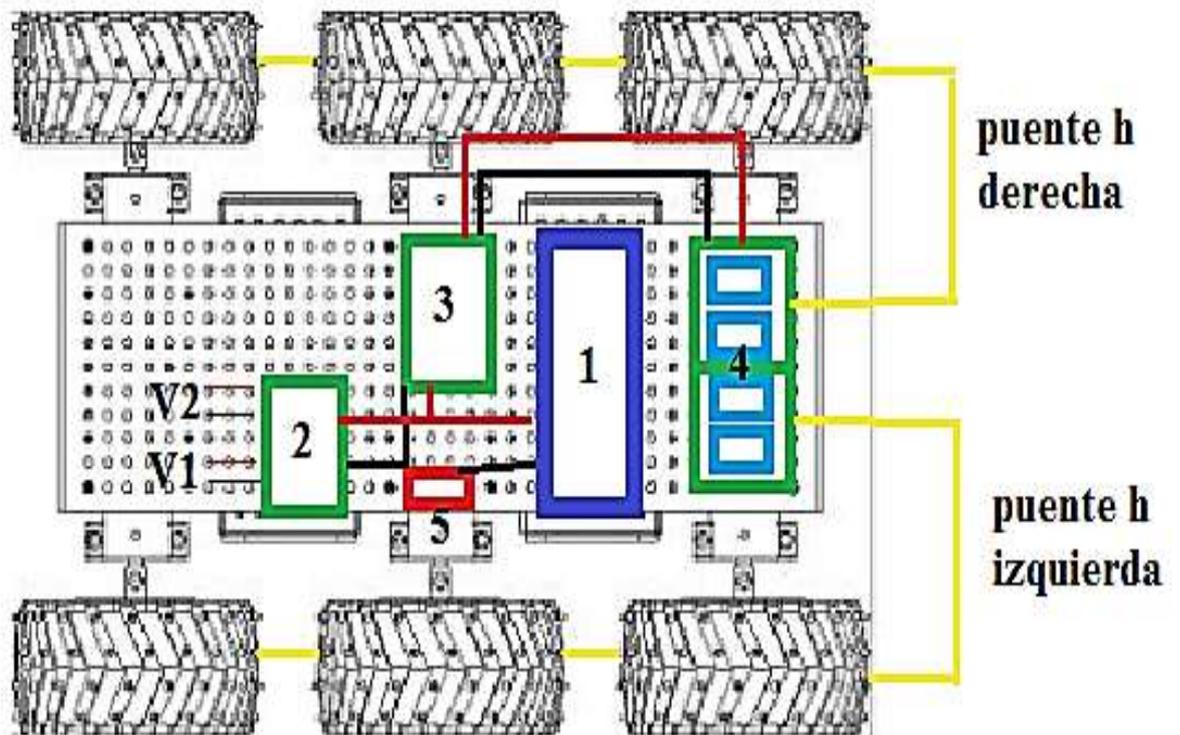


Figura 40 Esquema etapa de potencia, donde (1) Baterías LIPO, (2) Convertidores DC-DC, (3) Driver motor DC, (4) Módulo 4 relés y (5) Switch (ON/OFF)

En esta etapa de potencia se verificó los valores teóricos de la corriente especificada por el fabricante con los valores reales medidos de la plataforma robótica, con el objetivo de tener un dimensionamiento óptimo de los dispositivos electrónicos que intervienen en esta etapa. Al energizar cada motor con una batería de LIPO de 7.4V se obtuvo una Corriente pico de 1.15A y una Corriente nominal: 0.54A. El consumo de corriente al energizar todos los motores a 7.4V es de 3.1A ($0.54A \times 6$ motores) con un consumo de potencia de 23W aproximadamente por hora. Por lo tanto, la potencia suministrada por la fuente para que el dispositivo móvil se encuentre operativo mínimo dos horas debe ser aproximadamente de 46W, para lo cual se seleccionó 3 baterías LIPO de dos celdas de 7.4V 2500mA conectadas en paralelo, como se muestra en la **Figura 41**, otorgando una potencia total operativa de 55,5W.

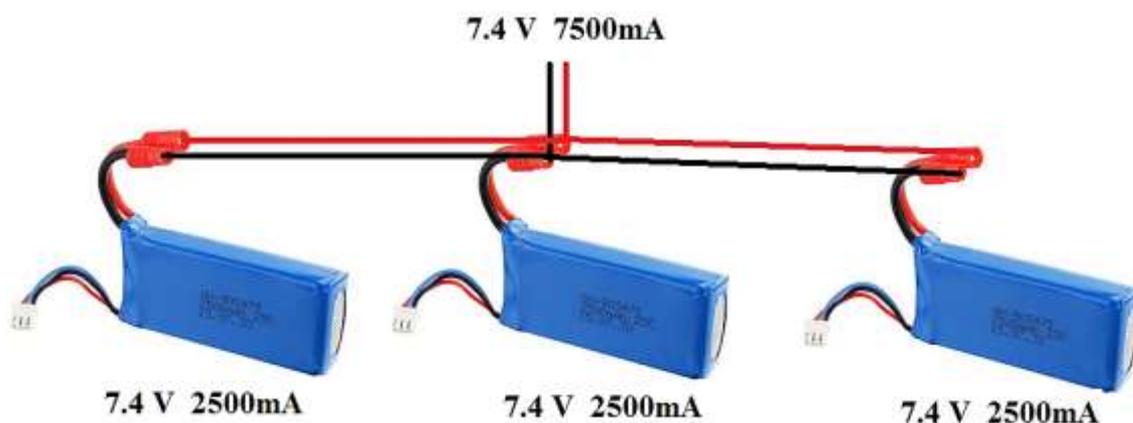


Figura 41 Conexión en paralelo baterías LIPO 7.4V 2500mA

También es necesario recalcar que la tensión de operación ideal del microcontrolador, cámara, sensores y actuadores es de 5V, por tal motivo se seleccionó convertidores DC-DC tipo Buck (reductores), que permite trabajar con voltajes que van desde los 1.2V a 37V, con una corriente máxima de 3A sin disipador y 5A con disipador (Texas Instruments, 2013).

Se energizó cada componente y se estableció que el consumo de corriente de la cámara IP es de 1.5A y el consumo de corriente en conjunto del microcontrolador, sensores ultrasónicos, sensores químicos MQ, compás electrónico, servo motor, módulo 4 relés y módulo RF es de 3.5A aproximadamente. Por tal motivo se seleccionó un convertor DC-DC sin disipador para la cámara IP y un convertor DC-DC con disipador para los componentes restantes (Véase **Figura 42**).



Figura 42 (a) Convertor DC-DC LM2596S sin disipador, (b) Convertor DC-DC LM2596S con disipador

Fuente y elaboración: (a) (GeekFactory, s.f.), (b) (Yobett, s.f.)

Las salidas de los microcontroladores son perfectamente útiles para controlar cargas que no consuman demasiada corriente, pero son insuficientes para cargas mayores de 800mA (ARDUINO, s.f.). El acople de la etapa de control con la etapa de potencia fue realizado por un módulo de 4 relés (véase **Figura 43**) que soportan cargas de hasta 10A, con el fin de generar una doble configuración de puente H para el control de giro de los motores.



Figura 43 Módulo de 4 relés

Fuente y elaboración: (GeekFactory, s.f.)

El circuito de puente H fue diseñado para controlar el sentido de giro de un motor DC. Esta configuración funciona de manera fácil y sencilla. Se implementó con el uso de 2 relés que inviertan la tensión en los terminales del motor DC, permitiendo de esa manera el control del movimiento de giro de la plataforma móvil como se muestra en la **Tabla 7**.

Tabla 7

Funcionamiento puente H con relés

Movimiento	Relé 1	Relé 2	Voltaje en el terminal A del motor	Voltaje en el terminal B del motor
Izquierda	activado	desactivado	7.4V	tierra
Derecha	desactivado	activado	tierra	7.4V
Paro	activado	activado	7.4V	7.4V
	desactivado	desactivado	tierra	tierra

Cabe mencionar que todas las tensiones son medidas con respecto a la tierra y para que exista una diferencia de potencial entre los terminales de un motor, deben existir dos potenciales diferentes. Caso contrario si las tensiones en los terminales son iguales no se produce una correcta polarización del motor. El esquema de conexión del puente H se muestra en la **Figura 44**.

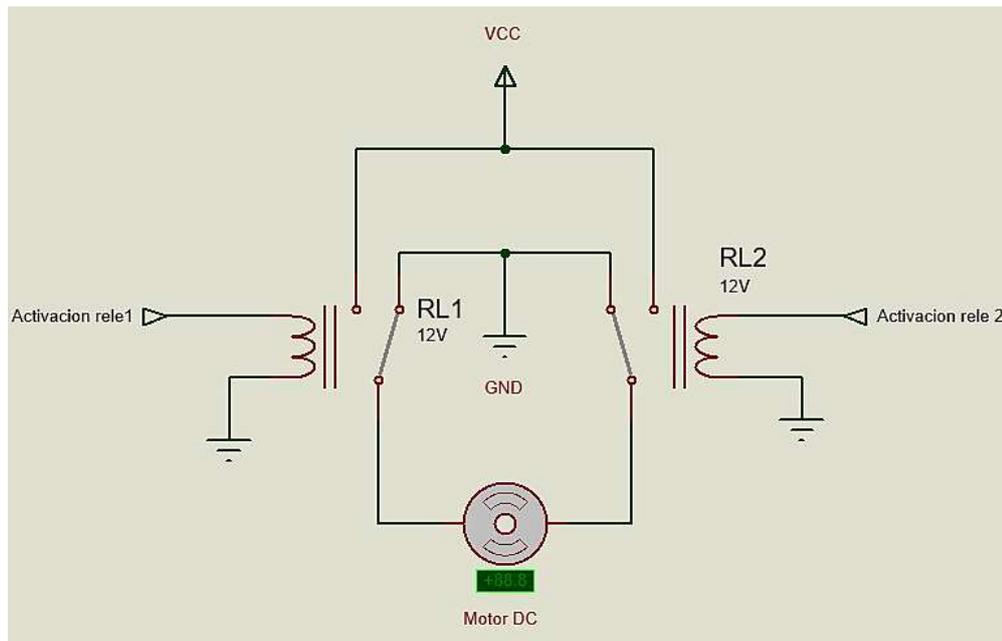


Figura 44 Diagrama esquemático puente H

Finalmente, al analizar los valores de consumo de corriente en el dispositivo móvil, se observó que la corriente necesaria para el arranque simultáneo de los 6 motores es de 6.9A, y de 3,3A en operación normal del robot. Tomando en cuenta dichas especificaciones, se implementó un driver de velocidad en un rango de trabajo de 6V-30V con una corriente continua de operación de 6A y una corriente de sobre carga de 8A, con un tipo de modulación PWM mediante un potenciómetro. La tensión de entrada proviene de las baterías LIPO (7.4V), y el voltaje de salida es el voltaje regulado suministrado a los motores (1.5V – 7.4V); para la variación de la velocidad de manera automática, se adapta al eje de giro del servomotor el potenciómetro que varía la señal PWM del módulo, de esa manera asilando la etapa de potencia con la etapa de control (Véase **Figura 45**).

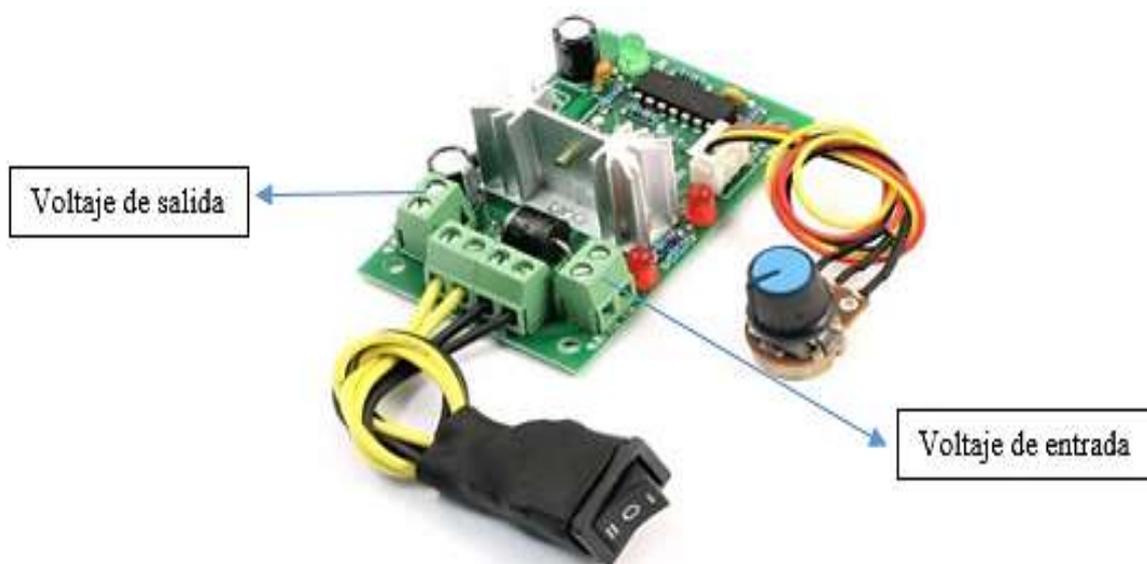


Figura 45 Driver motor DC

Fuente y elaboración: (Newegg, s.f.)

Para lograr un aumento y disminución de la velocidad de la plataforma robótica y poder controlarla de forma remota se acopló el potenciómetro que varía la señal PWM del driver de motores DC al eje de giro del servomotor; que es un dispositivo que dispone en su interior un motor con reductor de velocidad y multiplicador de fuerza, también dispone de un circuito que controla el sistema con un ángulo de giro del eje que va de 0° a 180° (Véase **Figura 46**) (UTFSM, 2003).

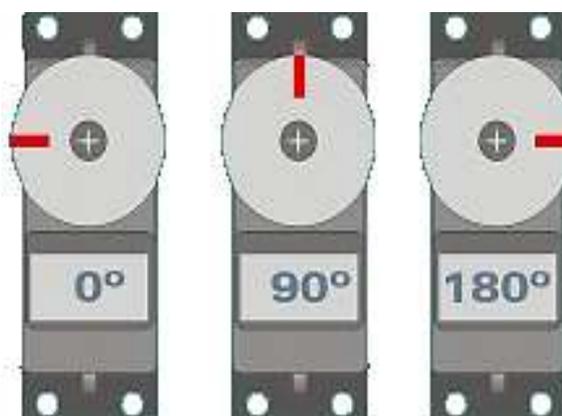


Figura 46 Posicionamiento de un servomotor

Fuente y elaboración: (UTFSM, 2003)

3.3. Montaje etapa de potencia, control y visión artificial a la estructura del dispositivo móvil

Una vez descritas las etapas previas de potencia, control y visión artificial, se procede a la integración y conexión de los diferentes sensores y actuadores sobre la estructura mecánica del dispositivo móvil, como se menciona anteriormente para una correcta sujeción y aislamiento de los componentes se emplean moldes elaborados en impresión 3D. En la **Figura 47**, se muestra la parte exterior del dispositivo móvil totalmente ensamblado.



Figura 47 Dispositivo móvil conectado exterior

En la **Figura 48**, se muestra la parte interna de la plataforma móvil totalmente interconectado y operativo, con sus respectivos recubrimientos y moldes impresos en 3D. En donde se puede observar la distribución estratégica de los sensores ultrasónicos sobre la estructura mecánica del robot, como la ubicación de las baterías, el microcontrolador y demás sensores.



Figura 48 Dispositivo móvil conectado interior

3.4. Comunicación inalámbrica entre el ordenador y el dispositivo móvil

Debido a los requerimientos y modo de operación del dispositivo móvil, es necesario que el microcontrolador se pueda comunicar de forma inalámbrica a una distancia máxima de operación de 1KM entre el robot y el ordenador. La comunicación RF permite a cualquier ordenador empleando el módulo receptor TTL/USB, el intercambio de información proveniente del módulo transmisor colocado sobre el dispositivo móvil, logrando de esa manera un control remoto sin interferencias a distancias mayores que la que ofrece los módulos de comunicación wifi (300 metros).

El ordenador emplea la librería de comunicación serial de Python para establecer un intercambio entre los módulos RF. Python es un lenguaje de programación abierto capaz de analizar y ejecutar otros programas dentro del ordenador; su funcionamiento se basa en la implementación de librerías, las cuales poseen toda la información necesaria para implementación de diferentes módulos y recursos de la maquina en la plataforma de desarrollo.

La velocidad de transmisión del microcontrolador como la del ordenador debe ser iguales para que exista un correcto intercambio de la información. Adicionalmente se emplea una configuración 8N1 (8 bits de datos, ninguna paridad y 1 bit de parada) de

los puertos seriales. La información entre los módulos RF se maneja con caracteres ASCII, los cuales se detallan en la **Tabla 8**. Los cuales manejan 8 bits (1 Byte) de información, haciendo posible de esa manera el intercambio de comandos ASCII a una velocidad aproximada de 83 milisegundos entre caracteres.

Tabla 8

Caracteres ASCII que intervienen en la comunicación serial RF

Ordenador	Arduino DUE
<p><u>Caracteres Enviados:</u></p> <p>a → (botón joystick hacia adelante) b → (botón joystick hacia atrás) d → (botón joystick derecha) i → (botón joystick izquierda) p → (ningún botón presionado) 0 → (botón 1 joystick presionado) 1 → (botón 2 joystick presionado) 2 → (botón 3 joystick presionado) 3 → (botón 4 joystick presionado) 4 → (botón 5 joystick presionado) 5 → (botón 6 joystick presionado) 6 → (botón 7 joystick presionado) 7 → (botón 8 joystick presionado) s → (color azul reconocido) f → (finalizar función)</p>	<p><u>Caracteres Enviados:</u></p> <p>p → (registrar ubicación magnética) t → (ingreso en modo automático) d → (recolectar 100 muestras de la posible fuente de olor) l → (100 muestras de cada sensor enviadas) k → (recolectar 600 muestras para pruebas)</p>
<p><u>Caracteres Recibidos:</u></p> <p>p → (realizar registro de ubicaciones) t → (dispositivo en modo automático) d → (Registrar muestras en Excel) l → (Guardar archivo Excel) k → (Registrar y Guardar las 600 muestras para pruebas en archivo Excel)</p>	<p><u>Caracteres Recibidos:</u></p> <p>a → (mover hacia adelante) b → (mover hacia atrás) d → (girar a la derecha) i → (girar a la izquierda) p → (detener movimiento) 0 → (registra ubicación atrás, 150° posición del servomotor) 1 → (registra ubicación derecha, 120° posición del servomotor) 2 → (registra ubicación izquierda, 60° posición del servomotor) 3 → (registra ubicación en frente, 0° posición del servomotor) 4 → (Detener movimiento de la cámara, salir a modo manual) 5 → (Cambiar modo automático) 6 → (recolectar datos durante 6min)</p>

7 → (Iniciar variación de velocidad)
s → (posicionar posible fuente de olor)
f → (Salir a rutina principal)

Para que exista una comunicación entre el dispositivo móvil y el ordenador usando Python es necesario la utilización de la librería de comunicación serial del mismo, la cual permite la configuración de la velocidad de transmisión entre el módulo transmisor montado en el robot con el módulo receptor conectado en la PC.

La configuración de la comunicación serial RF en el ordenador implementado en Python se representa en el diagrama de flujo de la **Figura 49**, y el código fuente utilizada se muestra en el Anexo 1. Donde el programa selecciona el puerto “COM5” y se emplea una configuración 8N1 con una velocidad de transmisión de 9600 baudios; posteriormente se emplea un bucle donde se lee toda la información del puerto serial cuando este se encuentra habilitado.

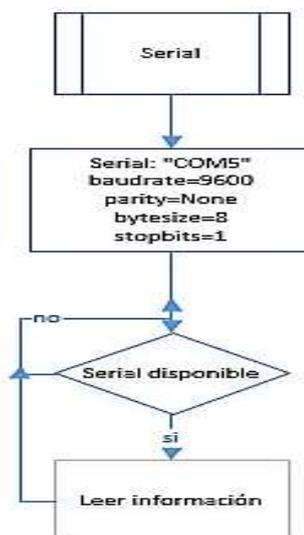


Figura 49 Configuración serial RF Python

En cambio, la configuración de la comunicación serial RF en el microcontrolador/Arduino se representa en el diagrama de flujo de la **Figura 50**, y el código fuente utilizado se muestra en el Anexo 2. Donde el programa define una comunicación RF serial en el tercer puerto del Arduino DUE, el cual se configura a

una velocidad de transmisión de 9600 baudios; posteriormente se emplea un bucle donde se lee toda la información del puerto serial cuando este se encuentra habilitado.

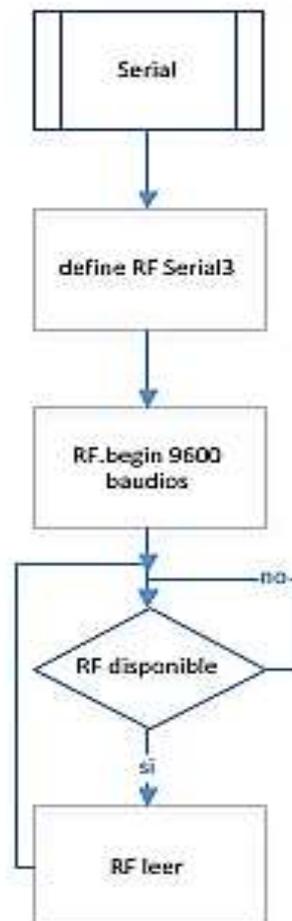


Figura 50 configuración serial RF Arduino

Tomando en cuenta que no existen cámaras con la capacidad de conectarse de manera inalámbrica empleando RF, se utiliza una cámara IP que se conecta mediante wifi con cualquier ordenador. La comunicación wifi emplea tramas, las cuales son unidades de información que equivalen al paquete de datos enviado por la cámara IP al ordenador.

Para que exista una comunicación entre la cámara IP y el ordenador es necesario configurar el usuario y contraseña de la cámara IP. Para acceder a la cámara se tiene que abrir el explorador y buscar la dirección 192.168.1.2 la cual despliega una ventada de acceso (véase **Figura 51**), donde se ingresara a la configuración de la misma con la

siguiente información “Usuario: admin”, “Contraseña:(vacío)”. Una vez dentro de configuración se actualizará la información de ingreso por “Usuario: admin”, “Contraseña: focam”, esta nueva información es necesario modificarla para una correcta implementación del paquete de cámaras Foscam que posee Python 2.7.



Figura 51 Ventana de acceso cámara IP

El diagrama de flujo de la configuración de la cámara IP en Python se muestra en la **Figura 52**, y el código fuente utilizado para la configuración de la cámara se muestra en el Anexo 1. Donde se definen los comandos del movimiento de la cámara y la dirección IP 192.168.1.2. correspondiente de la cámara IP con usuario: “admin” y contraseña “focam” accediendo a la información de la misma.

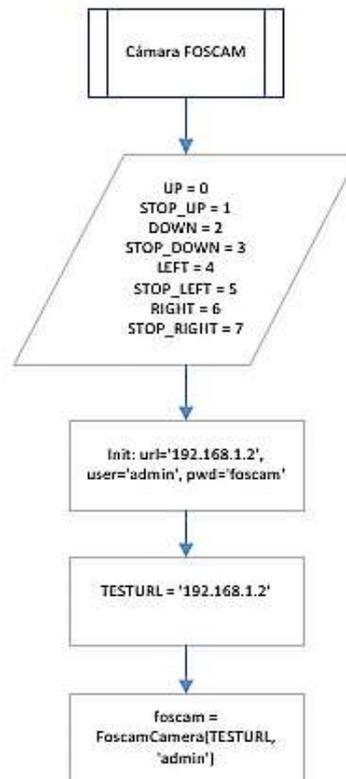


Figura 52 Configuración cámara IP en Python

El flujo de información de las comunicaciones inalámbricas que se emplean en este proyecto se muestra en la **Figura 53**, donde se observa el módulo transmisor RF conectándose al ordenador directamente y la cámara IP ubicadas sobre el dispositivo móvil comunicándose con el ordenador mediante la utilización de un Router inalámbrico que aloja la red DAGU 2.



Figura 53 Forma de comunicación inalámbrica

CAPÍTULO IV

ALGORITMOS DE NAVEGACIÓN USANDO VISIÓN ARTIFICIAL, Y LOCALIZACIÓN A TRAVÉS DE REDES NEURONALES

En este capítulo se detalla la estructura y funcionamiento de los algoritmos de navegación usando visión artificial, y localización usando redes neuronales. Haciendo referencia a la adquisición de señales y el procesamiento de información, incluyendo la integración y pruebas de funcionamiento de los distintos algoritmos sobre el dispositivo móvil.

4.1. Algoritmo de navegación mediante visión artificial.

Para el desarrollo del algoritmo de navegación mediante visión artificial, se adaptó el ambiente controlado con bloques de cartón de color azul para las potenciales fuentes peligrosas y con bloques de otros colores para los obstáculos como se observa en la **Figura 54**. Se tomó en cuenta que dichos bloques deben poseer una altura mínima de 10 cm para que sea detectado por los sensores ultrasónicos para su evasión.



Figura 54 Ambiente controlado con obstáculos

EL algoritmo de navegación fue implementado en el microcontrolador, el cual espera un comando de activación proveniente del ordenador para empezar con la búsqueda de la posible fuente de olor. El microcontrolador, en un inicio, registra la ubicación magnética proveniente del compás electrónico, con el objetivo de conocer la posición del robot con respecto a la dirección, y este ayude en la ejecución de los giros.

El diagrama de flujo del registro de la ubicación magnética se muestra en la **Figura 55**. Para este registro inicial es necesario que el operario realice los giros de forma manual, ubicando el robot de frente, derecha, atrás e izquierda, presionando los botones del joystick correspondientes a cada ubicación como se observa en la **Figura 56**. En donde la primera ubicación es de frente, presionando el botón 4 para su registro; la segunda ubicación es a la derecha, presionando el botón 2 para su registro; la tercera ubicación es hacia atrás, presionando el botón 1 para su registro; y finalmente la posición a la izquierda, presionando el botón 3 para su registro.

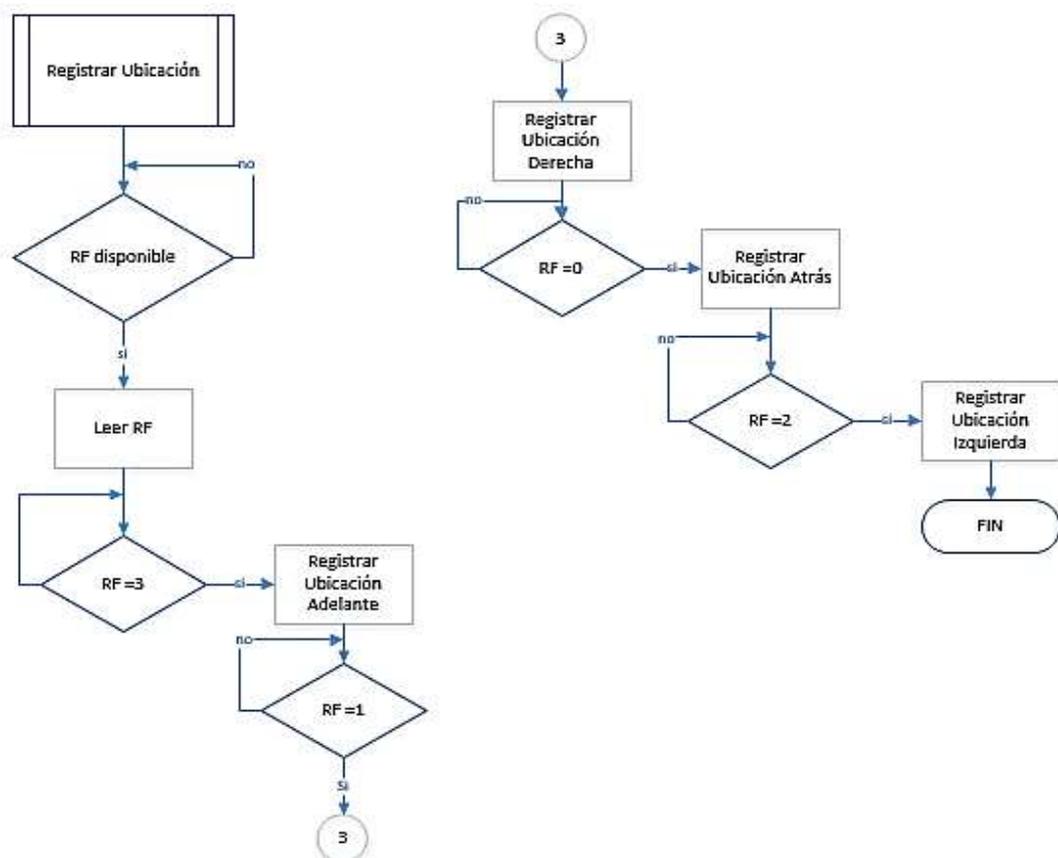


Figura 55 Diagrama de flujo del registro de la Ubicación magnética del dispositivo móvil



Figura 56 Proceso del Registro de ubicación magnética

Una vez registrada la ubicación en las distintas direcciones en variables internas del microcontrolador, se procede a la ejecución del algoritmo de navegación, cuyo objetivo principal es evadir los obstáculos avanzando hacia delante en el ambiente controlado hasta encontrar una posible fuente de olor, ubicando cerca al dispositivo móvil para su análisis. La lógica del algoritmo de navegación se describe en el diagrama de flujo mostrado en la **Figura 57**.

Donde el robot avanzará en línea recta hasta detectar un posible obstáculo a 30 cm de distancia, si el robot se ubica en el centro o a la derecha del obstáculo, este procederá a esquivar el objeto rodeándolo por la derecha hasta sobrepasarlo; caso contrario, si el robot se ubica a la izquierda del obstáculo, este procederá a esquivar el objeto rodeándolo por la izquierda hasta sobrepasarlo. Esto implica que el dispositivo móvil tiene la capacidad de discriminar la mejor ruta de evasión dependiendo de la ubicación del obstáculo que se encuentra frente al dispositivo móvil.

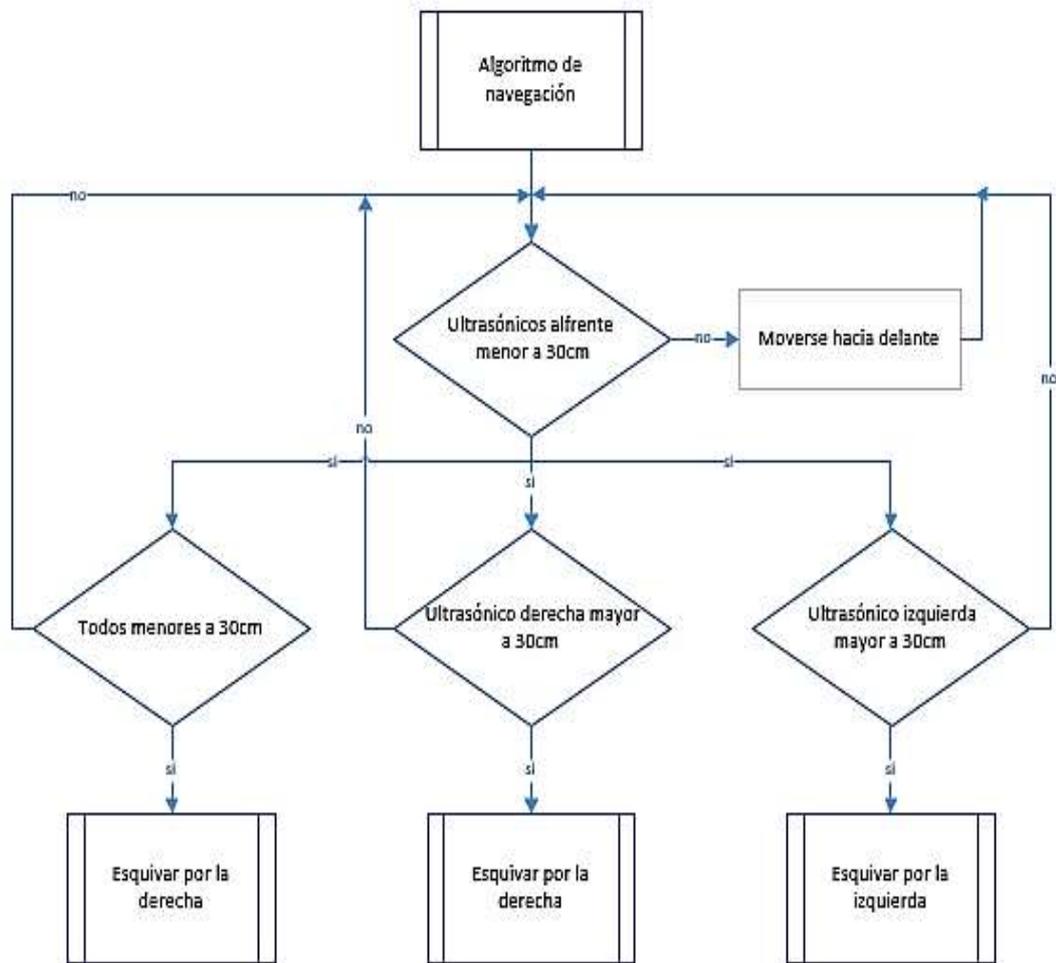


Figura 57 Diagrama de flujo de la lógica de evasión de obstáculos

Como se observa el diagrama de flujo anterior, se establecen 3 posibles condiciones para la evasión de obstáculos, el cual toma la señal de los sensores ultrasónicos ubicados al frente del dispositivo móvil para la toma de decisión con respecto al giro del mismo. Como se dispone de dos sensores ultrasónicos en cada esquina se puede estimar la ruta más corta para evadir los obstáculos dependiendo de la ubicación del robot con respecto a los obstáculos, como se muestra en la **Figura 58**. En el caso que el robot se encuentre centrado o de lado derecho al obstáculo, este procederá a esquivar rodeándolo por la derecha; caso contrario si el robot se encuentra de lado izquierdo al obstáculo, este procederá a esquivar rodeándolo por la izquierda.



Figura 58 Ubicación del obstáculo en referencia del dispositivo móvil

El proceso de esquivar por la derecha consiste en rotar hacia la dirección derecha registrada en el compás electrónico, después avanzar de frente hasta sobrepasar el obstáculo, para terminar, rotando a la izquierda hacia la dirección frontal registrada en el compás electrónico continuando con la navegación como se describe en diagrama de la **Figura 59**.

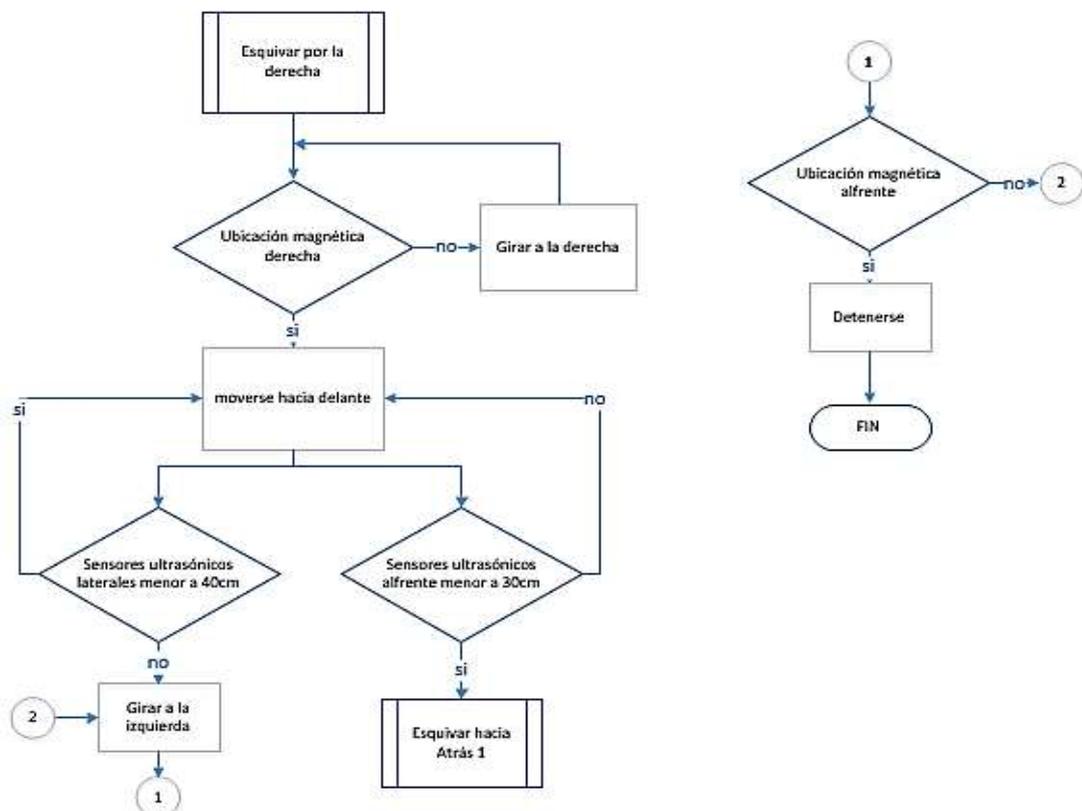


Figura 59 Diagrama de flujo del algoritmo esquivar por la derecha

Si antes de atravesar completamente al objeto se detecta otro obstáculo con los sensores ultrasónicos ubicados en el frente, lo que produce que dicho obstáculo no sea atravesado por completo como se muestra en la **Figura 60**. La plataforma móvil procederá a retroceder hasta que las señales provenientes de los sensores ultrasónicos laterales no detecten ningún obstáculo.



Figura 60 Posible condición del obstáculo al esquivar por la derecha

El dispositivo móvil ejecuta la lógica que consiste en esquivar el obstáculo hacia atrás partiendo desde la izquierda que consiste en retroceder hasta sobrepasar el objeto, para terminar, rotando a la izquierda hacia la dirección frontal registrada en el compás electrónico continuando con la navegación como se describe en el diagrama que se muestra en la **Figura 61**.

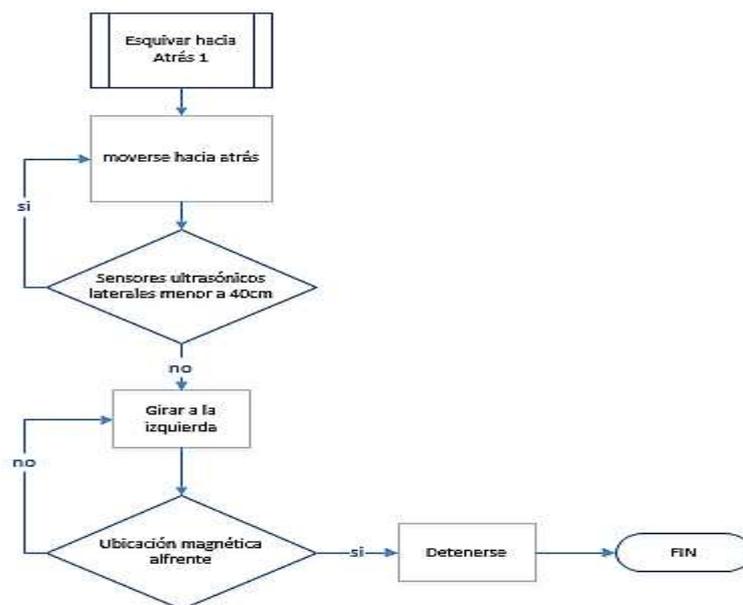


Figura 61 Diagrama de flujo del algoritmo esquivar hacia atrás 1

La lógica de evasión de un obstáculo ubicado a la izquierda se muestra en la **Figura 62**, la cual consiste en rotar hacia la dirección izquierda registrada en el compás electrónico, después avanzar de frente hasta sobrepasar el obstáculo, para terminar, rotando a la derecha hacia la dirección frontal registrada en el compás electrónico continuando con la navegación.

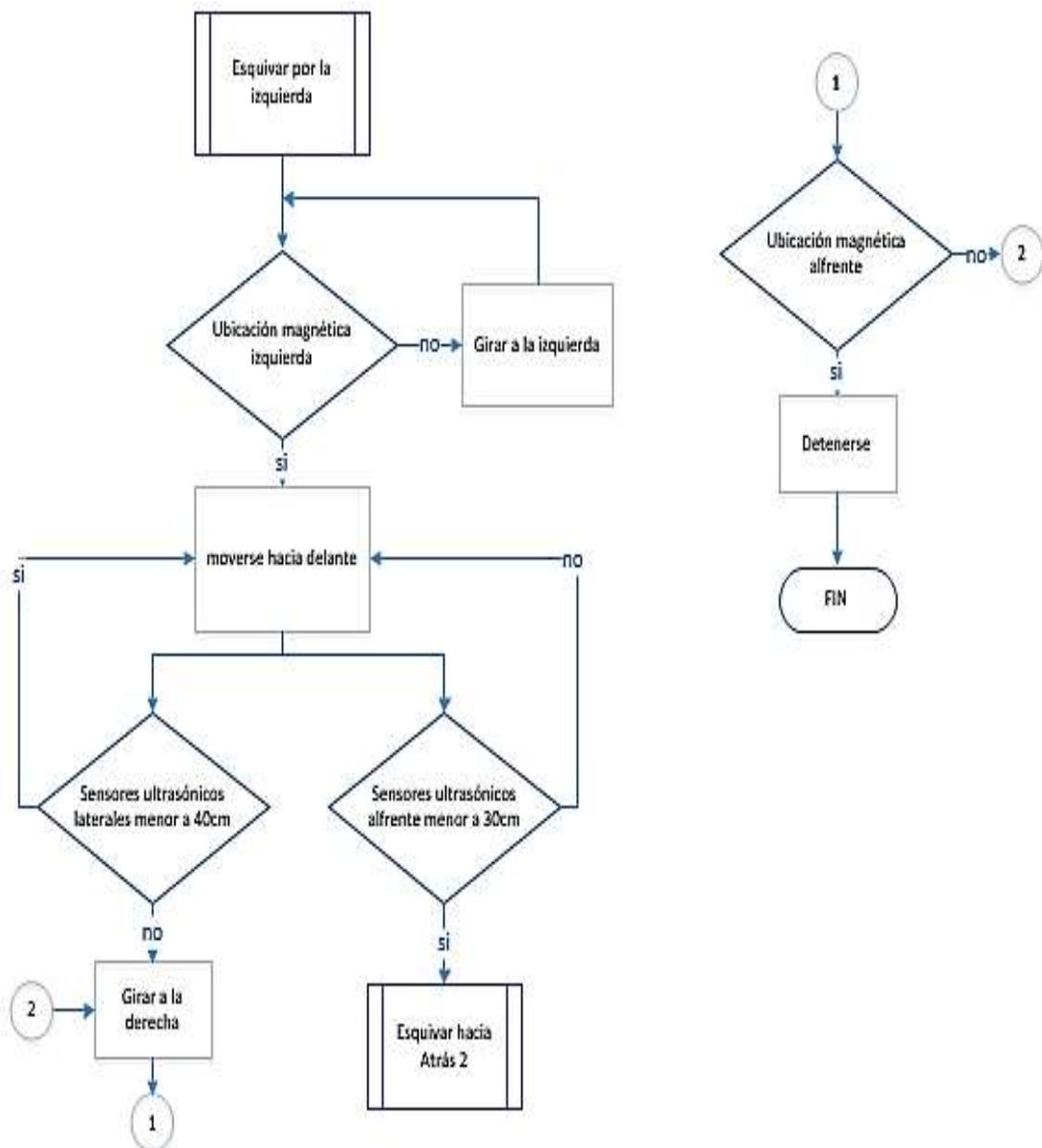


Figura 62 Diagrama de flujo del algoritmo esquivar por la izquierda

Tal como se observa la lógica de funcionamiento es similar que, al atravesar el objeto por la derecha, de manera que si en el proceso de esquivar un obstáculo hacia la izquierda, los sensores ultrasónicos ubicados en el frente del dispositivo móvil

también detectan un obstáculo (véase **Figura 63**), se procederá a realizar una evasión del obstáculo hacia atrás partiendo desde la izquierda.



Figura 63 Posible condición del obstáculo al esquivar por la izquierda

La lógica para esquivar hacia atrás partiendo desde la izquierda consiste en retroceder hasta sobrepasar el obstáculo completamente para terminar rotando a la derecha hacia la dirección frontal registrada en el compás electrónico continuando con la navegación y búsqueda de la fuente de olor como se describe en el diagrama que se muestra en la **Figura 64**.

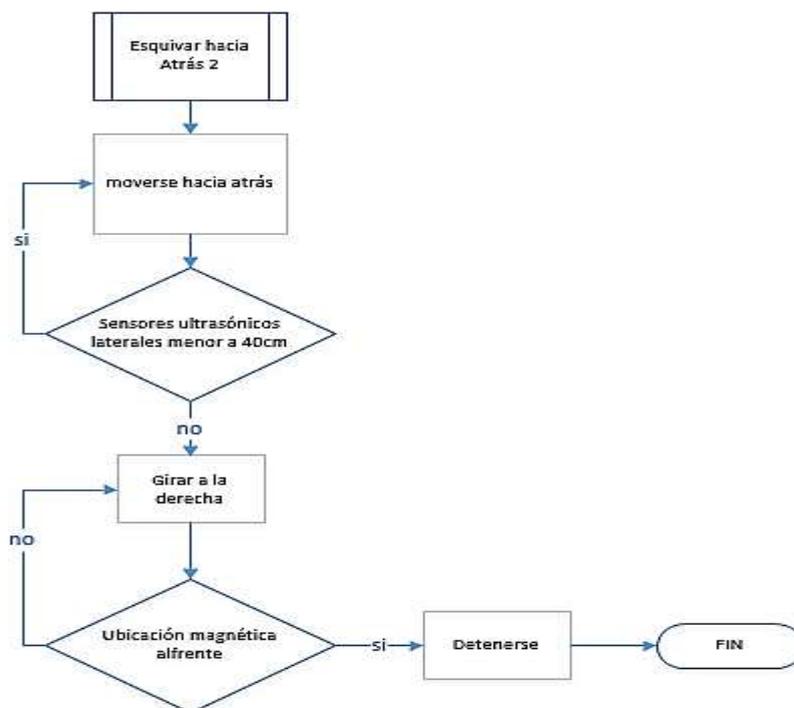


Figura 64 Diagrama de flujo del algoritmo esquivar hacia Atrás 2

4.1.2. Algoritmo de detección basado en visión artificial.

La función principal del algoritmo basado en visión artificial es de detectar la posible fuente de olor analizando el color de cada obstáculo con que se encuentre en la trayectoria del dispositivo móvil dentro del ambiente controlado con obstáculos. Por fines académicos se estableció obstáculos de color azul como posible fuente de olor.

Una vez que se detecta un obstáculo con los sensores ultrasónicos del robot móvil ubicados en la parte frontal del mismo, el microcontrolador envía el comando para que se proceda a verificar su color, y se envía el comando de respuesta al microcontrolador para dar la instrucción correspondiente en relación del color del objeto.

Si se detecta un área mayor de 20 cm^2 de color azul en el obstáculo, entonces se procede al análisis de la posible fuente de olor empleando una técnica basado en el algoritmo de redes neuronales artificiales; caso contrario se procede a ejecutar el algoritmo de navegación basado en la técnica HSL para esquivar dicho objeto y seguirá con la búsqueda.

Al terminar el análisis de la fuente de olor el sistema entrega los resultados al operador, los cuales si al detectar que la fuente de olor no posee muestra, se procede a continuar con la búsqueda; caso contrario si se detecta presencia de la muestra en la fuente de olor, el sistema entrega la dirección y concentración de la misma para la toma de decisiones.

El desarrollo del algoritmo de detección de colores basado en visión artificial fue implementado en la plataforma de desarrollo de software libre Python 2.7, donde se utilizó las librerías OpenCV que abarcan un gran número de procesos de visión artificial. El diagrama de flujo del algoritmo de reconocimiento del color azul basado en visión artificial fue implementado en Python 2.7 como se muestra en la **Figura 65**.

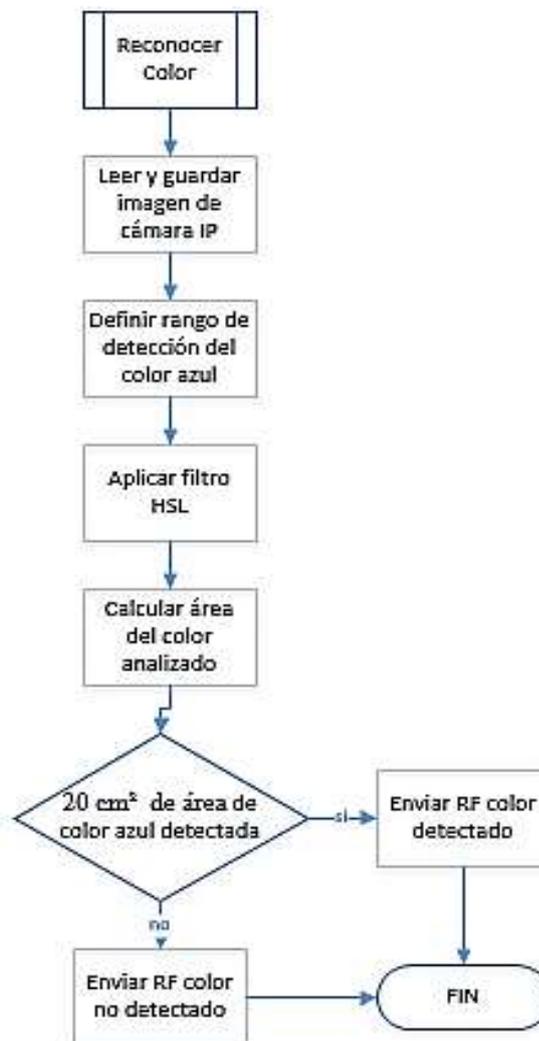


Figura 65 Diagrama de flujo del algoritmo basado en visión artificial

4.2. Algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales

Para el desarrollo del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales es necesario generar un modelo que se aproxime al escenario real de pruebas. Por lo tanto, en una primera etapa se generó una matriz de entrenamiento donde se realizó 80 pruebas dentro del ambiente controlado a un metro de distancia de la fuente de olor (véase **Figura 66**), considerando lo siguiente:

- Fuente: sin muestra y con muestra.
- Localización de la fuente: izquierda, centro y derecha del dispositivo móvil.
- Concentración de alcohol: 1ml, 5ml y 10ml diluidas en 5ml de agua.

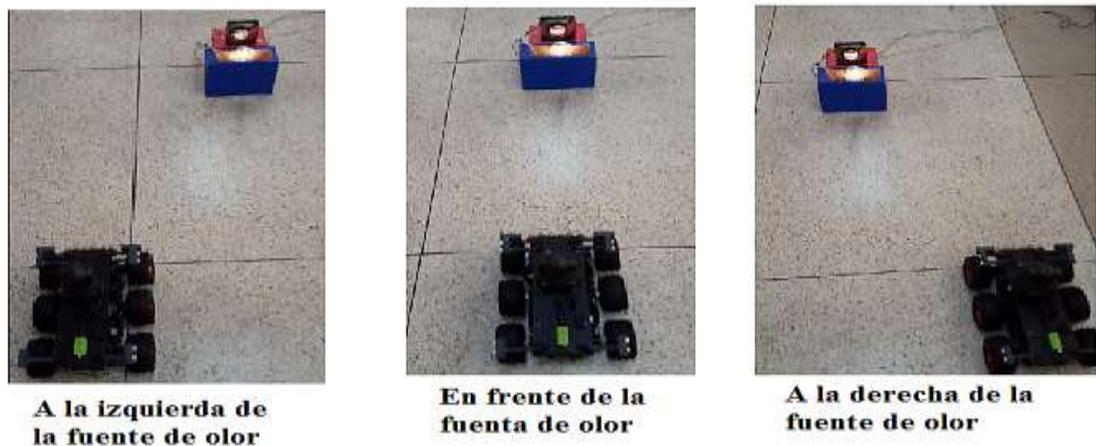


Figura 66 Posiciones del dispositivo móvil para la recolección de información

Cada uno de los experimentos realizados tuvieron una duración de 30 minutos a una frecuencia de muestro es de 0.5Hz; donde el primer minuto se tomaron datos sin muestra, y durante cinco minutos posteriores se recolecta los datos colocando la muestra. Los 24 minutos restantes fueron usados para permitir que el ambiente controlado se despeje del aroma presente. Los datos de la matriz de sensores (6x1) fueron almacenados en tablas de Excel tal como se muestra en la **Figura 67**.

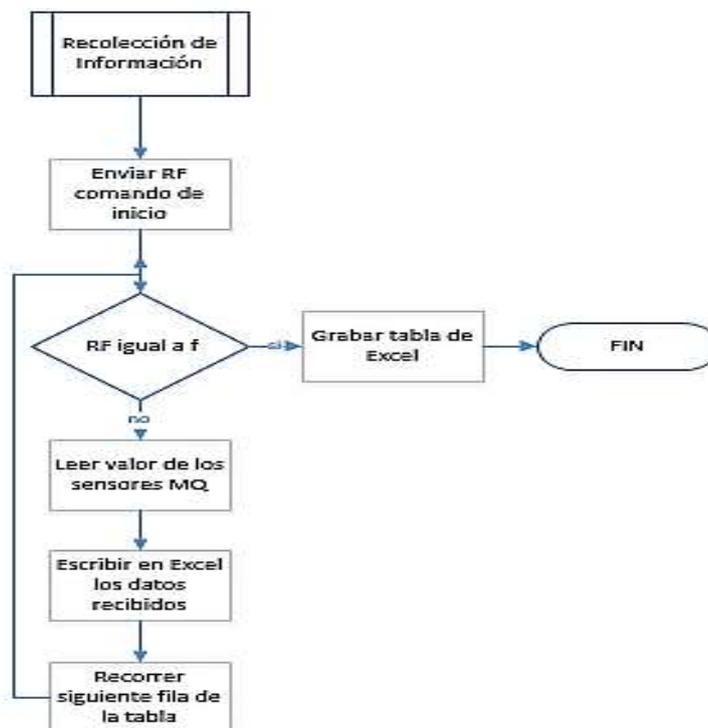


Figura 67 Diagrama de Flujo recolección de información en tablas de Excel

La información recolectada de cada uno de los experimentos se almacena en una matriz de 6 (sensores) x 600 (muestras) dentro de Excel como se muestra en la **Figura 68**.

	A	B	C	D	E	F
1	76	57	57	30	91	55
2	96	60	58	31	91	56
3	95	60	58	31	93	57
4	96	61	59	31	93	56
5	96	61	59	32	92	57
6	96	61	59	32	93	57
7	96	61	58	32	93	56
8	96	60	60	32	93	57
9	96	60	59	32	94	57
10	97	62	59	31	95	57

389	147	151	60	31	302	220
390	144	145	61	31	284	229
391	142	142	60	32	276	228
392	137	137	62	32	273	208
393	135	133	61	32	272	194
394	131	129	61	31	266	181
395	129	127	61	32	260	174
396	129	124	60	31	258	170
397	128	123	61	32	257	165
398	127	122	61	32	284	163
399	128	129	60	31	282	160
400	125	129	61	32	289	155

Figura 68 Matriz de información recolectada en Excel

En la **Figura 69** se puede observar la respuesta de un experimento cuando hay una muestra de 5ml H₂O + 1ml alcohol, en donde las primeras 100 medidas no hay muestra y a medida que se introduce la muestra en el ambiente se nota que el comportamiento de los sensores va variando. Evidentemente, la respuesta de los sensores a un cierto tipo de concentración no es constante y fluctúa debido a factores externos como lo es el viento.

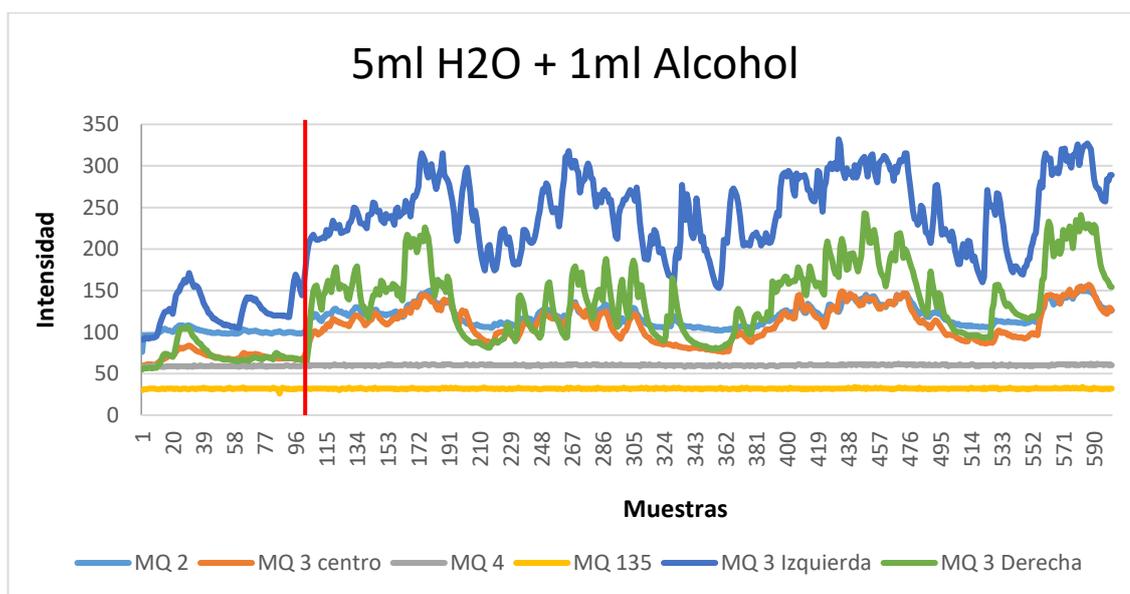


Figura 69 Datos recolectados sin suavizado exponencial

En cada uno de los experimentos se aplicó un método de suavizado exponencial simple de los datos. Este método contiene un mecanismo de autocorrección que ajusta los pronósticos en dirección opuesta a los errores pasados y es óptimo para eliminar el impacto del ruido presente en los datos y eliminar posibles artefactos en la señal (Salazar, 2016). La fórmula de aplicar un suavizado exponencial simple se muestra en la siguiente ecuación:

$$\bar{X}_t = \bar{X}_{t-1} + 0.1 * (X_{t-1} - \bar{X}_{t-1})$$

Donde:

- \bar{X}_t es el promedio de los datos en el periodo t
- \bar{X}_{t-1} es el pronóstico de los datos del periodo t-1
- X_{t-1} es el valor real del periodo t-1

El resultado de aplicar el suavizado exponencial simple al conjunto de datos se muestra en la **Figura 70**. En donde se observa que la señal es menos ruidosa con relación a la señal normal sin el suavizado. Lo que quiere decir que los datos después de ser corregidos presentan menores perturbaciones que los datos originales, sin perder las características esenciales de las mismas.

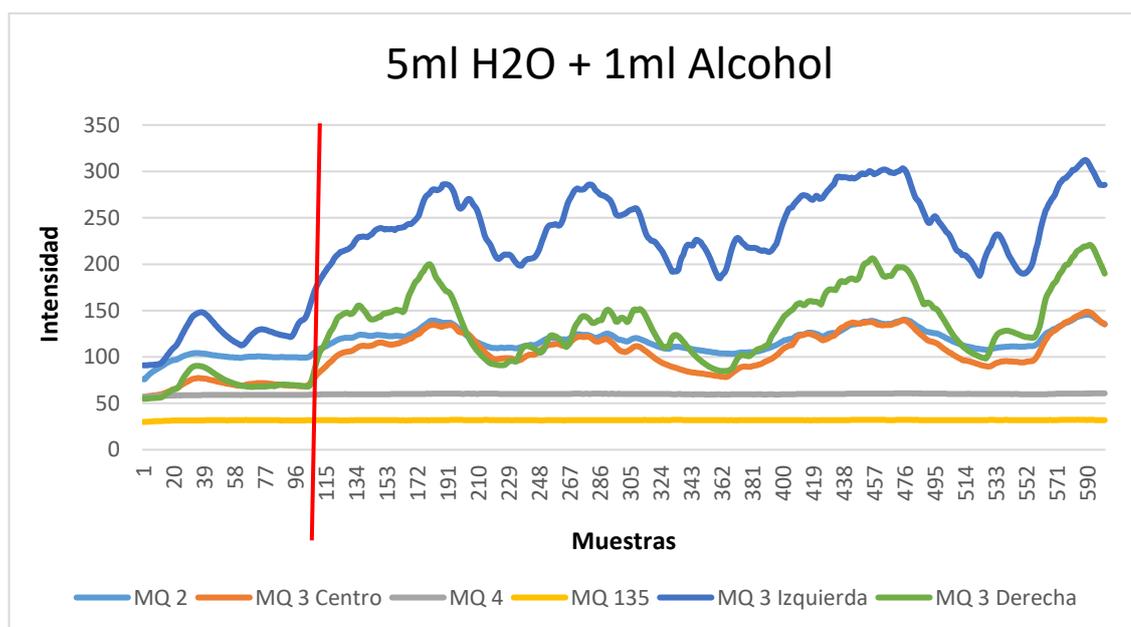


Figura 70 Datos recolectados con suavizado exponencial

Al sobreponer las imágenes anteriores como se muestra en la **Figura 71**, se puede observar que la característica esencial de los datos se mantiene; esto quiere decir que el suavizado exponencial simple en el arreglo de sensores químicos funciona de manera eficaz, corrigiendo los picos de señal ocasionados por las interferencias presentes en el ambiente.

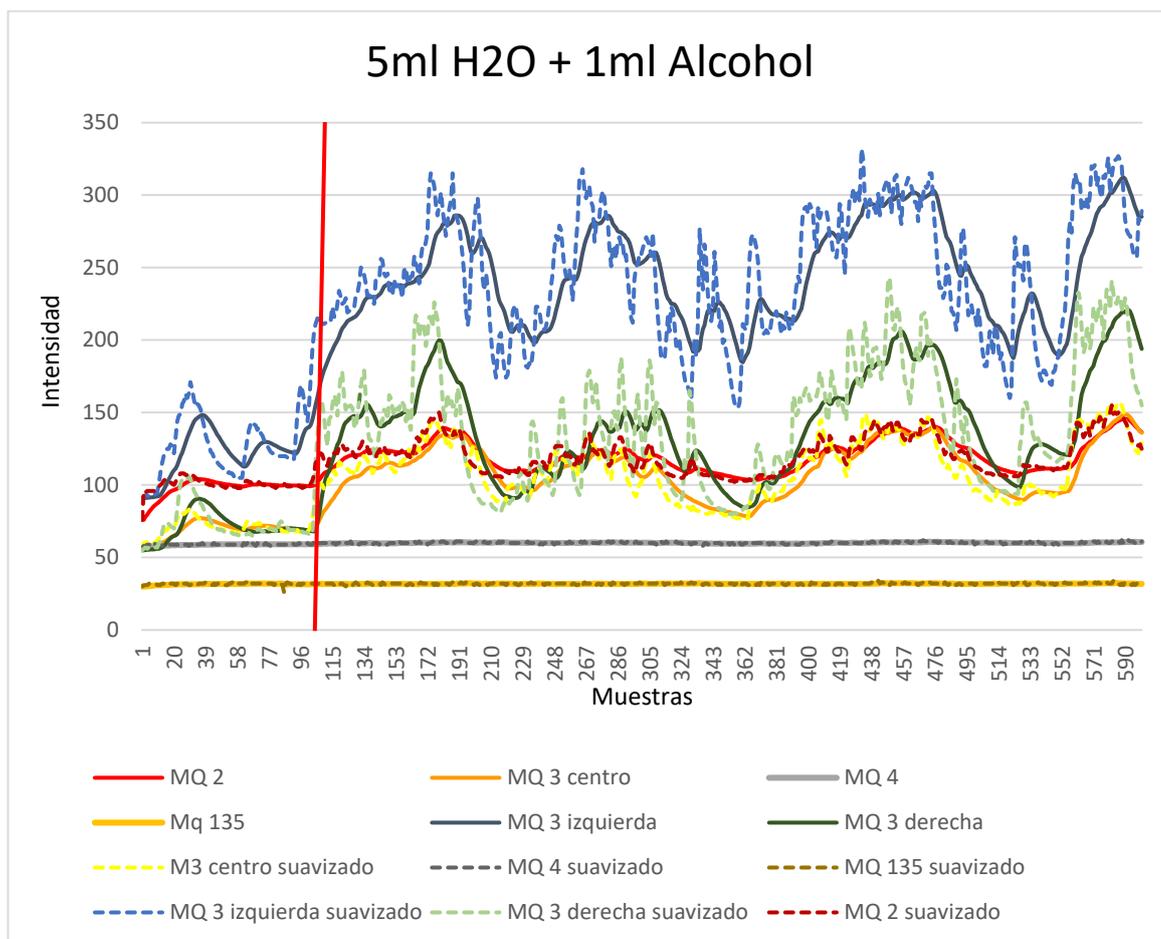


Figura 71 Datos recolectados sin y con suavizado exponencial

Para el entrenamiento es crucial tener un conjunto de experimentos suficientemente grande para que la respuesta del modelo ejemplifique lo que sucede en la vida real. Para garantizar tener modelos robustos se realizaron veinte experimentos por cada condición de operación (Véase **Tabla 9**) haciendo un total de ochenta experimentos con una matriz de 6 (sensores) x 600 (muestras) cada una.

Tabla 9

Distribución de las pruebas realizadas por ubicación y concentración

Nombre de la Prueba	Número de Pruebas
Sin fuente	8
Fuente al frente 5ml H2O + 1ml alcohol	8
Fuente al frente 5ml H2O + 5ml alcohol	8
Fuente al frente 5ml H2O + 10ml alcohol	8
Fuente a la derecha 5ml H2O + 1ml alcohol	8
Fuente a la derecha 5ml H2O + 5ml alcohol	8
Fuente a la derecha 5ml H2O + 10ml alcohol	8
Fuente a la izquierda 5ml H2O + 1ml alcohol	8
Fuente a la izquierda 5ml H2O + 5ml alcohol	8
Fuente a la izquierda 5ml H2O + 10ml alcohol	8

Debido a la gran cantidad de datos obtenidos por el arreglo de sensores químicos MQ en cada prueba, es necesario comprimir y extraer toda la información relevante del conjunto de datos, ya que en muchas ocasiones la información esencial no depende de las variables aisladas sino de la interrelación de las mismas. El algoritmo de análisis de componentes principales (PCA) es una de las técnicas más utilizadas para trabajos con narices electrónicas ya que permite reducir, representar y extraer la información relevante (Gardner, 1991).

El método PCA es un algoritmo lineal que asume colinealidad (Una variable X_1 sea combinación lineal de otra X_2) entre las variables de los sensores químicos que conforman la nariz electrónica y que puede funcionar incorrectamente en procesos altamente no lineales. Por tal motivo el análisis de componentes principales es un método idóneo para explotar el concepto de sensibilidades solapadas que se aplica en la mayoría de narices electrónicas (Brezmes, 2001). (véase **Figura 72**).

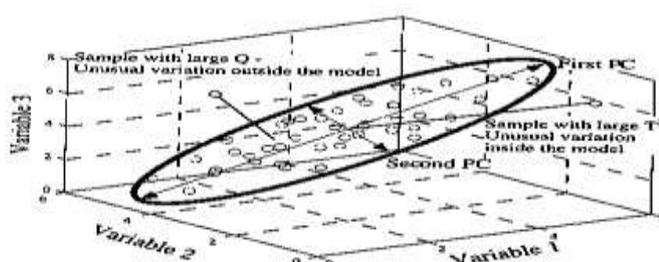


Figura 72 Ejemplo gráfico del algoritmo PCA

Fuente y elaboración: (Brezmes, 2001)

Antes de aplicar el análisis de componentes principales se dividió las 80 pruebas realizadas anteriormente de 6 (sensores) x 600 (muestras), en matrices de 6 (sensores) x 100 (muestras), con el objetivo de reducir el tiempo de 6 minutos a 1 minuto en la que el robot analiza una muestra, lo que implica reducir el número de entradas en la matriz de entrenamiento. Tomando en cuenta que el primer minuto de cada prueba se considera como sin fuente de olor, se selecciona desde el segundo minuto; teniendo un total de 440 muestras como se muestra en la **Tabla 10**.

Tabla 10

Distribución de las entradas en la matriz de entrenamiento por ubicación y concentración

Nombre de la Prueba	Pruebas
<u>Sin fuente:</u>	80
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 6 ventanas c/u • 32 ventanas del primer minuto de las pruebas con muestra 	
<u>Fuente al frente 5ml H2O + 1ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	
<u>Fuente al frente 5ml H2O + 5ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	
<u>Fuente al frente 5ml H2O + 10ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	
<u>Fuente a la derecha 5ml H2O + 1ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	
<u>Fuente a la derecha 5ml H2O + 5ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	
<u>Fuente a la derecha 5ml H2O + 10ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	
<u>Fuente a la izquierda 5ml H2O + 1ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	
<u>Fuente a la izquierda 5ml H2O + 5ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	
<u>Fuente a la izquierda 5ml H2O + 10ml Alcohol:</u>	40
<ul style="list-style-type: none"> • 8 pruebas x 5 ventanas c/u 	

Posteriormente se procede a realizar el algoritmo PCA sobre las matrices de 6 (sensores) x 100 (muestras) empleando el software MATLAB (véase código fuente en Anexo 3). En el cual se observa que en el primer componente principal se captura el 94% de la varianza como se muestra en la **Figura 73**. Lo que significa que casi toda la información importante del arreglo de sensores químicos se representa en el primer resultado del análisis PCA.

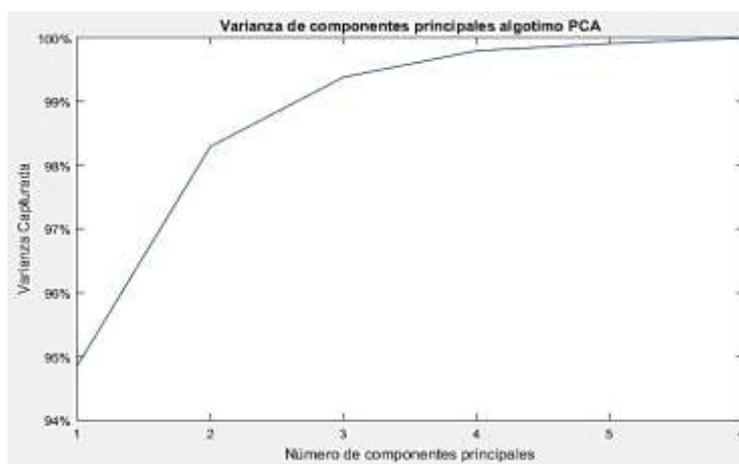


Figura 73 Varianza capturada de las componentes principales del arreglo de sensores químicos

Por tal motivo el conjunto de datos de 6 (sensores) x 100 (muestras) se reduce a una nueva matriz de 1 (primer componente principal) X 100 (muestras) que representa el primer resultado del análisis PCA (véase **Figura 74**), y a la vez serán las entradas de la red neuronal en la matriz de entrenamiento.

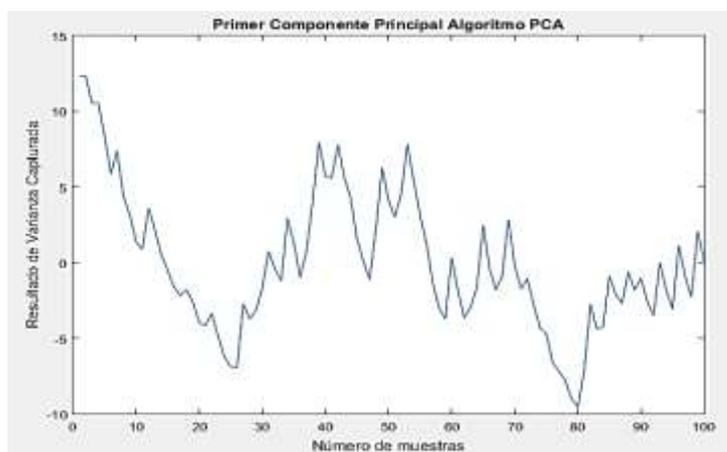


Figura 74 Primer resultado del análisis PCA con el 94% de la varianza capturada

Se realiza el análisis PCA a cada una de las pruebas realizadas y se arma la matriz de entrenamiento, la cual se estructura como se muestra en la Tabla 11. En donde los valores de entrada serán los resultados de la primera componente principal de las matrices de 6 (sensores) x 100 (muestras) y las respuestas de la red neuronal será una matriz de (2 resultados) x 1 (muestra), donde la primera salida representa la ubicación de la fuente de olor y la segunda salida será la concentración detectada.

Tabla 11

Estructura de la matriz de entrenamiento

		Entradas		Salidas	
Matriz	#	Prueba	D1	D2	
(100x1)	X0	Sin muestra	0	0 (sin muestra)	
(100x1)	X (1)	Sin muestra	0	0 (sin muestra)	
(100x1)	X (2)	Al frente 1ml de muestra	20 (frente)	10 (baja concentración)	
(100x1)	X (3)	Al frente 5ml de muestra	20 (frente)	20 (alta concentración)	
(100x1)	X (4)	Al frente 10ml de muestra	20 (frente)	20 (alta concentración)	
(100x1)	X (5)	Ala derecha 1ml de muestra	30 (derecha)	10 (baja concentración)	
(100x1)	X (6)	Ala derecha 5ml de muestra	30 (derecha)	20 (alta concentración)	
(100x1)	X (7)	Ala derecha 10ml de muestra	30 (derecha)	20 (alta concentración)	
(100x1)	X (8)	Ala izquierda 1ml de muestra	40 (izquierda)	10 (baja concentración)	
(100x1)	X (9)	Ala izquierda 5ml de muestra	40 (izquierda)	20 (alta concentración)	
(100x1)	X (10)	Ala izquierda 10ml de muestra	40 (izquierda)	20 (alta concentración)	
.....	Xn	Sn [1]	Sn [2]	

Los datos recopilados para el entrenamiento de la red neuronal se contienen en una matriz de 440 (pruebas) x100 (muestras) las cuales representan las entradas y una matriz de 440 (pruebas) x 2 (resultados) las cuales representan las salidas como se muestra en la **Figura 75**. Es importante tener en cuenta que entre mayor sea el número de pruebas realizadas dentro de la matriz de entrenamiento, existirá mayor especificidad de los resultados dentro de la red neuronal.

ENTRADAS									SALIDAS					
	A	B	C	D	E	F	G	H	CS	CT	CU	CV	CK	CF
1	12.37	12.37	10.55	10.53	8.43	5.80	7.4	4.16	-0.93	-2.28	2.08	0.06	0	0
2	9.61	7.05	7.62	11.6	9.23	11.84	5.46	7.6	-7.18	-8.03	-3.88	-8.28	0	0
3	-1.22	-1.61	-2.17	-3.45	-1.62	-3.95	-4.29	0.33	2.83	1.11	-5.19	3.89	0	0
4	8.26	0.01	4.4	8.14	6.4	6.34	3.82	2.3	-0.92	-1.6	2.29	0.79	0	0
5	3.49	6.83	5.11	2.72	1.68	4.6	2.57	1.39	-4.62	-2.98	-3.94	-2.55	0	0
6	0.8	-0.39	1.55	0.94	-0.86	-0.34	3.32	1.84	-2.43	1.21	2	0.53	0	0
7	34	34	28.31	38.04	25.81	20.54	15.43	11.85	13.35	14.24	13.07	17.6	0	0
8	26.52	29.67	24.34	19.12	15.3	11.68	7.51	4.72	-18.34	-18.72	-12.18	-8.29	0	0
9	0.3	-2.25	-4.41	-7.61	-1.34	1.08	0.58	-1.62	13.95	13.67	7.94	4.92	0	0
10	5.69	12.32	18.1	23.32	28.70	29.47	27.32	22.59	-5.08	2.21	5.04	6.48	0	0
11	1.42	-1.16												
420	6.59	0.47	8.23	5.88	5.45	3.10	4.82	4.58	7.8	8.13	8.46	8.75	40	20
411	36.35	40.02	41.59	43.21	44.63	45.92	47.13	48.35	-17.27	-17.35	-17.6	-17.68	40	20
412	-4.1	-3.89	-3.67	-3.46	-3.51	-3.14	-2.99	-2.78	12.02	12.59	13.2	13.75	40	20
413	-18.71	-18.76	-18.8	-18.77	-18.65	-18.47	-18.31	-18.18	48.28	47.41	46.52	45.58	40	20
414	-15.72	-15.2	-14.73	-14.1	-13.63	-13.29	-12.8	-12.18	18.13	18.53	18.89	19.13	40	20
415	-172.06	-173.09	-174.03	-174.85	-175.43	-175.74	-175.92	-175.81	174.15	178.03	182.21	186.5	40	20
416	8.21	8.38	1.72	-1.87	-5.27	-8.23	-10.98	-13.26	28.97	27.79	26.62	25.24	40	20
417	0.78	4.12	1.23	-2.91	-5.2	-8.41	-11.56	-14.47	135.79	134.3	133.62	132.18	40	20
418	149.9	147.77	145.42	142.92	139.32	134.05	128.17	121.86	-32.09	-32.32	-32.67	-33.06	40	20
419	-14.64	-14.85	-14.93	-14.89	-14.85	-14.62	-14.1	-14.13	18.96	18.27	17.47	16.73	40	20
440	-2.26	-3.84	-5.15	-6.33	-7.49	-8.74	-9.97	-10.98	-24.08	-24.1	-24.01	-24.04	40	20

Figura 75 Matriz de entrenamiento

La primera salida de la red neuronal representa la dirección donde se ubica la fuente de olor en referencia al dispositivo móvil y la segunda salida representa la concentración de muestra, las posibles respuestas de la red neuronal se muestran en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Respuestas de la red neuronal

Salidas		Significado
D1	D2	
0	0	No se detecta la fuente de olor
20	10	Fuente de olor en frente baja concentración
20	20	Fuente de olor en frente alta concentración
30	10	Fuente de olor a la derecha baja concentración
30	20	Fuente de olor a la derecha alta concentración
40	10	Fuente de olor a la izquierda baja concentración
40	20	Fuente de olor a la izquierda alta concentración

Para el entrenamiento de la red neuronal se utilizó la herramienta “Neural Network Training” del software MATLAB como se muestra en la **Figura 76**, que realiza el procesamiento y modelamiento de la red neuronal artificial (véase código fuente en Anexo 3). En donde se observa que la estructura de la red neuronal está conformada por 100 valores de entrada, 30 neuronas artificiales en su capa oculta y 2 valores de salida.

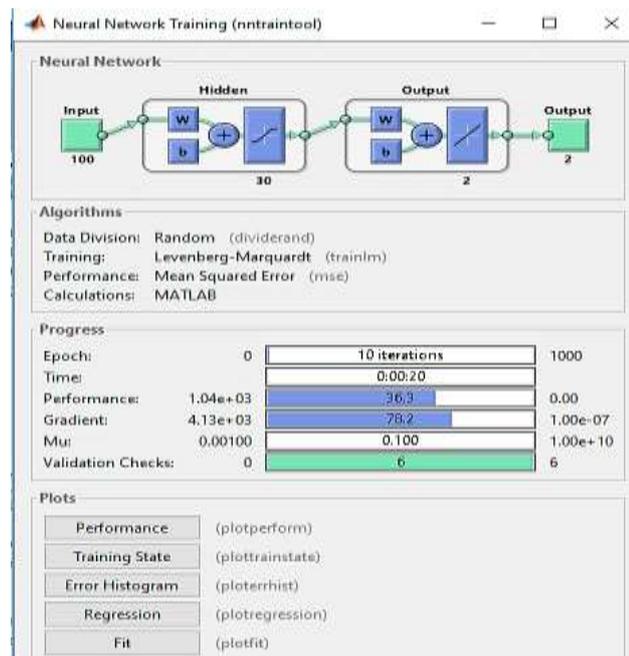


Figura 76 Entrenamiento de la red neuronal en MATLAB

En la **Figura 77** se muestra el proceso de ajuste y validación del entrenamiento. Tomando en cuenta que dentro de las épocas que se realizó el análisis, la menor cantidad de error se encuentra en los pesos de la cuarta época finalizando el entrenamiento.

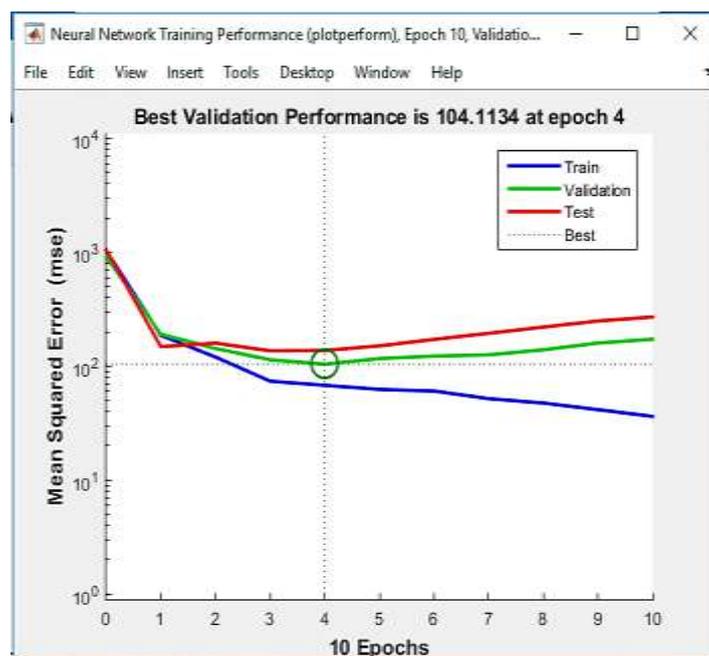


Figura 77 Ajuste de la red neuronal en MATLAB

El diagrama de flujo de la implementación del algoritmo de localización de fuentes de olor basado en redes neuronales se muestra en la **Figura 78**. El cual al ejecutarse después de que el dispositivo móvil haya detectado a un obstáculo como posible fuente de olor. Toma los valores de la matriz PCA de 100 (muestras) x 1 (primer componente principal) y los analiza por la red neuronal, la cual entrega dos valores de respuesta; la primera respuesta representa la ubicación de la fuente de olor (izquierda, centro o derecha) y la segunda respuesta entrega la concentración de la muestra (baja concentración o alta concentración).

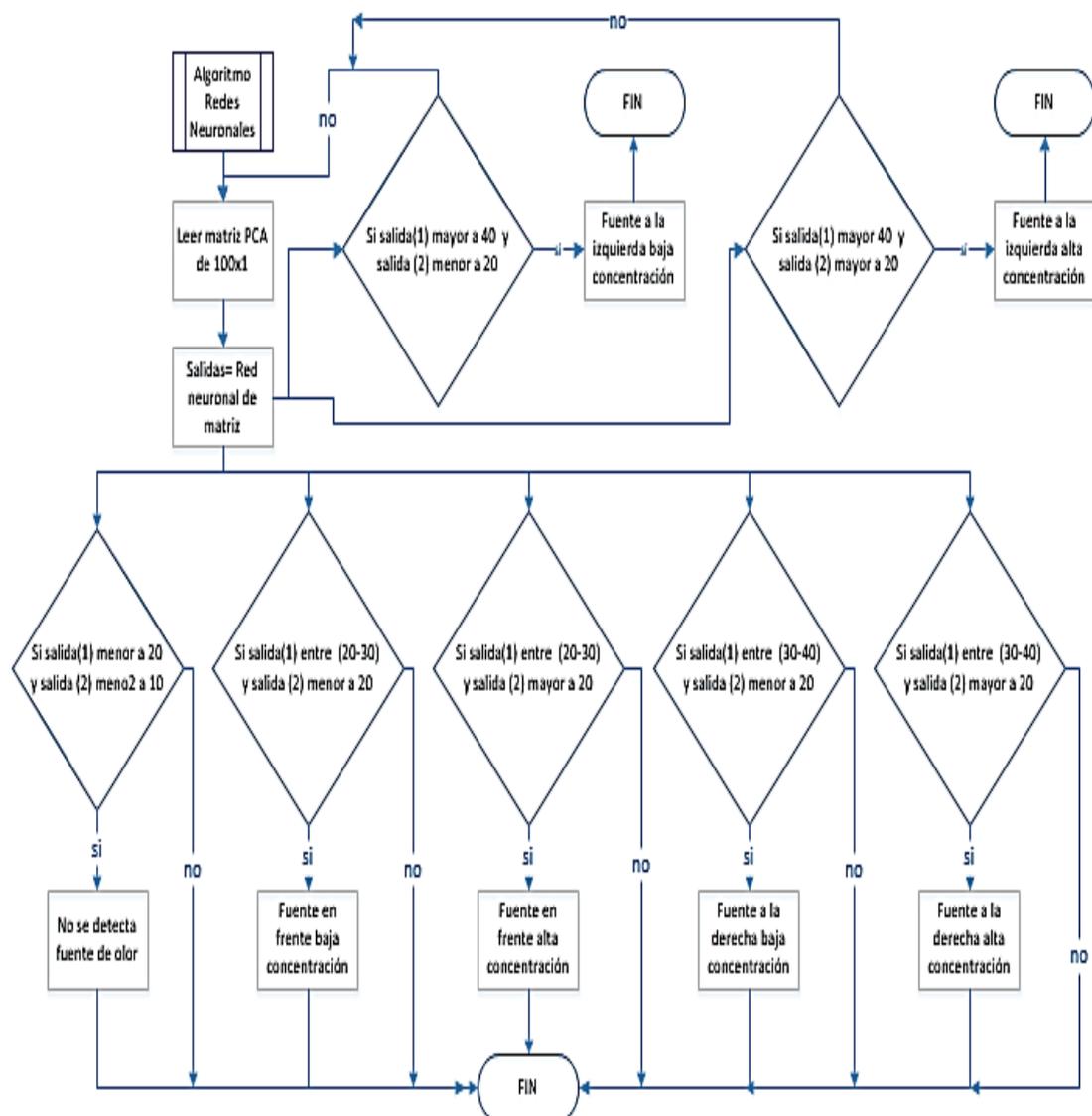


Figura 78 Diagrama de flujo de la implementación del algoritmo basado en redes neuronales

4.4. Integración del sistema autónomo de navegación y localización de fuentes de olor

Una vez desarrollados los algoritmos de navegación y localización de fuentes de olor basado en redes neuronales, se procede a integrar en un sistema automático que sea capaz de movilizarse dentro de un ambiente controlado con varios obstáculos, analizar el color de cada objeto y detectar la ubicación y concentración de las posibles fuentes de olor.

El algoritmo de navegación de obstáculo se ejecuta internamente en el microcontrolador Arduino DUE, el cual posiciona el dispositivo móvil cerca de las posibles fuentes de olor. De manera simultánea los algoritmos de visión artificial y redes neuronales se ejecutan en el ordenador, los cuales realizan el análisis de los datos recibidos por el robot y entregan los resultados al operador. El diagrama de flujo del funcionamiento del sistema integrado y la relación existente entre el microcontrolador con el ordenador se muestra en la **Figura 79**.

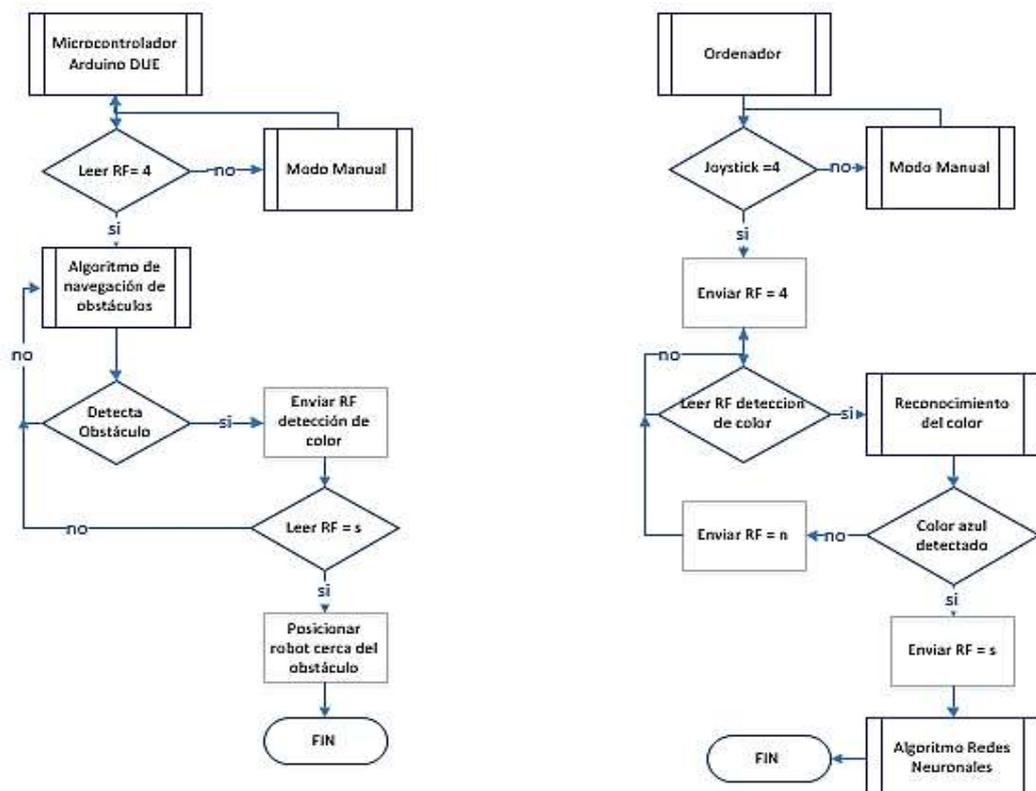


Figura 79 Diagrama de flujo del sistema automático integrado

4.4.1 Desarrollo de algoritmos en Python y Arduino

Desarrollo del algoritmo en el ordenador basado en Python 2.7

Para el desarrollo de la aplicación en el ordenador implementando Python 2.7. se debe tomar en cuenta los siguientes requerimientos:

- Ser desarrollada en plataforma de software libre Python 2.7.
- Ser capaz de obtener imágenes de la cámara IP mediante wifi.
- Ser capaz de comunicarse con el dispositivo móvil mediante RF.
- Utilizar visión artificial para el reconocimiento de colores.
- Guardar los datos recibidos de los sensores químicos en tablas de Excel.
- Reducir los datos recibidos de los sensores químicos empleando la técnica PCA, la cual pasa de 6 (sensores) x 100 (muestras) a (1 componente principal) x 100 (muestras).
- Ejecutar el algoritmo de detección de olor basado en redes neuronales artificiales con los valores obtenidos del PCA.
- Poseer dos modos de operación: manual o automático

En función a los requerimientos del presente proyecto de investigación, la aplicación se desarrolló en el software libre “JetBrains” que ejecuta el programa Python 2.7. y cuyo código fuente se muestra en el Anexo 1. En la **Figura 80**, se observa el diagrama de flujo de la actividad principal de la aplicación desarrollada en Python 2.7.

Donde inicialmente se realiza la implementación de todas las funciones necesarias para su funcionamiento alojadas en las librerías, para posteriormente entrar en modo manual de operación, teniendo el control remoto manual del robot empleando el joystick; al cambiar al modo automático se envía el comando para empezar la navegación de obstáculos y se ejecutan los algoritmos de visión artificial y de localización basado en redes neuronales en el ordenador.

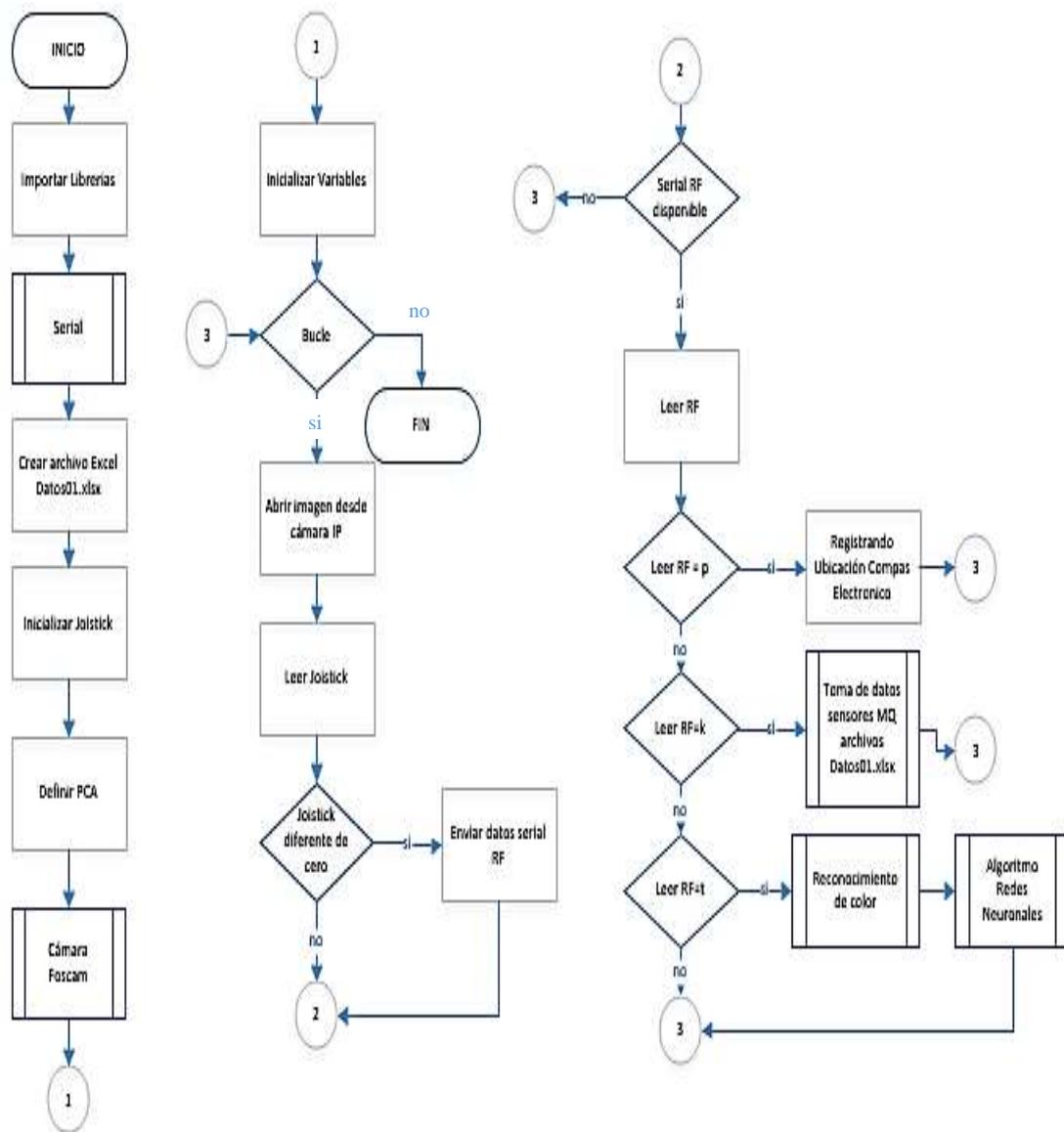


Figura 80 Diagrama de flujo Python 2.7

Para la correcta implementación del hardware y recursos del ordenador Python 2.7 basa su funcionamiento en la implementación de librerías, las cuales en este proyecto utilizaremos las siguientes librerías: Serial, time, pygame, urllib, threading, cv2, numpy, xlswriter y String IO.

Las librerías que permiten la comunicación inalámbrica entre el robot y la cámara IP al computador son: la librería serial que establece el inicio de la comunicación serial a 9600 baudios y permite el intercambio de información de los módulos RF, y la

librería urllib que Estable el inicio de la comunicación WIFI con la cámara IP 192.168.1.2. alojada en la red inalámbrica “DAGU2”.

Luego de inicializar y configurar las comunicaciones inalámbricas necesarias para que el algoritmo funcione correctamente, se registra la ubicación del campo magnético del dispositivo móvil en sus 4 direcciones: delante, derecha, abajo e izquierda. En la etapa de recolección de información, en donde se registra los datos de las pruebas de olor proveniente de los sensores químicos en una matriz de 6 (sensores) x 600 (muestras) almacenándolos en tablas Excel para armar la matriz de entrenamiento de la red neuronal.

Cuando se ingresa en modo automático, simultáneamente al algoritmo de navegación de obstáculos que se ejecuta en el microcontrolador Arduino DUE; el ordenador ejecuta el algoritmo de visión artificial que verifica el color de los obstáculos, tomando los azules como posibles fuentes de olor para su análisis y el algoritmo de redes neuronales que registra los datos provenientes de los sensores químicos en un matriz de 6 (sensores) x 100 (muestras), en la cual se emplea el análisis PCA para obtener una matriz de 1 (primer componente principal) x 100 (muestras) que ingresa a la red neuronal para obtener la respuesta de la fuente de olor.

Desarrollo del algoritmo en el dispositivo móvil basado en Arduino

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

- Ser desarrollada en plataforma de software libre Arduino.
- Ser capaz de comunicarse mediante RF a un ordenador.
- Enviar datos recolectados de los sensores químicos.
- Controlar movimientos y velocidad del dispositivo móvil.
- Registrar ubicación mediante el compás electrónico.
- Esquivar obstáculos.

En función de los requerimientos del proyecto, la aplicación se desarrolló en el software libre “Arduino Studio” y el código fuente se muestra en el Anexo 2. En la

Figura 81, se observa el diagrama de flujo de la actividad principal de la aplicación desarrollada en Arduino. Donde inicialmente se realiza la declaración de las variables, se registra la ubicación y se configura la velocidad de transmisión de la comunicación serial, seguidamente ingresa en modo manual de operación donde el usuario dirige de manera remota al dispositivo móvil; al ingresar en modo automático, el microcontrolador ejecuta el algoritmo de navegación de obstáculos y envía el comando de confirmación al ordenador para ejecutar los algoritmos de visión artificial y localización de olor basado en redes neuronales respectivamente.

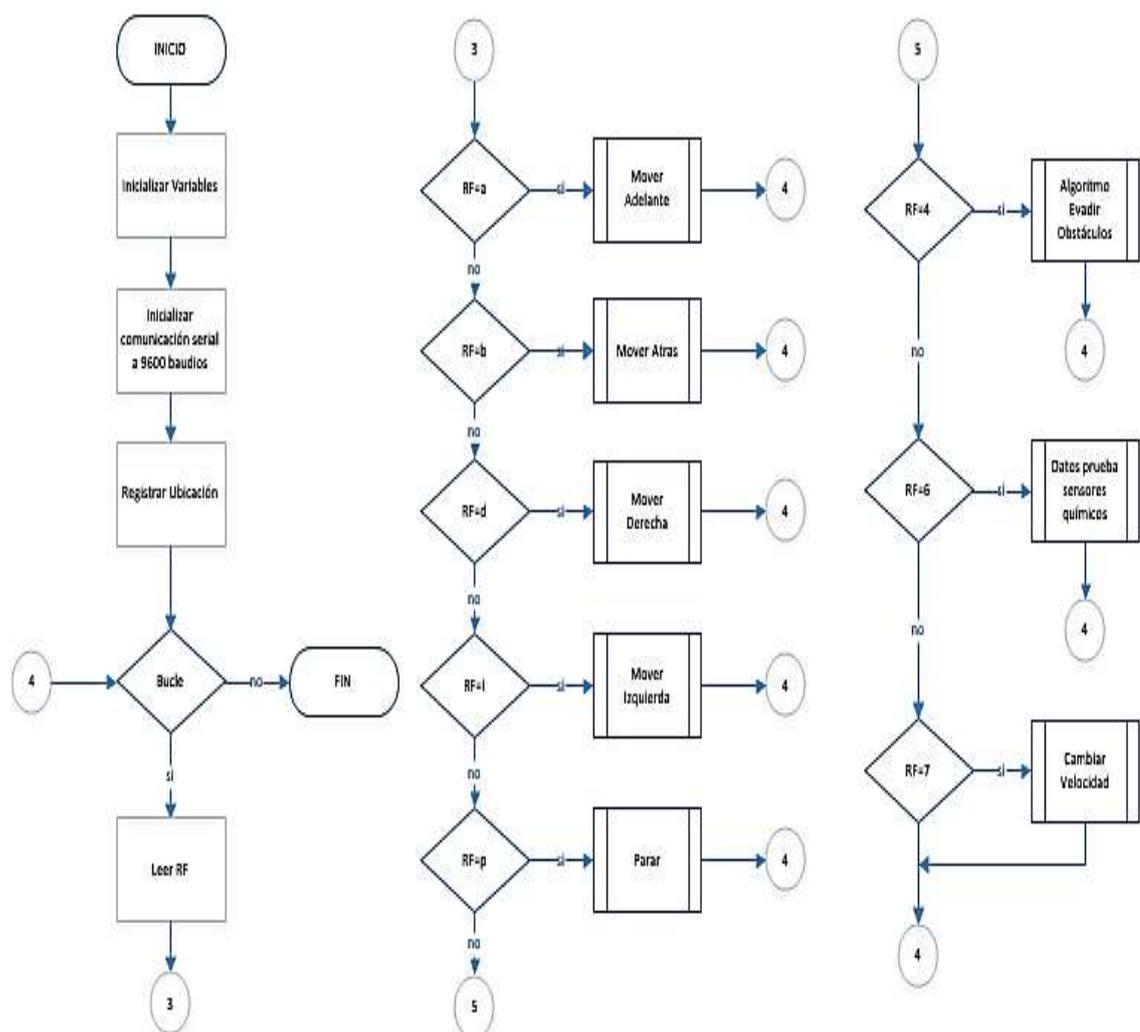


Figura 81 Diagrama de flujo Arduino

En modo manual de operación, dependiendo de los comandos del joystick enviados por el usuario al microcontrolador, este realiza la activación del módulo de 4 relés para

obtener un movimiento hacia adelante, atrás, izquierda o derecha del dispositivo móvil, como la desactivación del módulo de relés para detener el movimiento del mismo. Si se desea cambiar la velocidad de movimiento del robot, el usuario a través del joystick varia la posición del servomotor, modificando la velocidad del dispositivo móvil mediante la señal PWM del driver DC proveniente del potenciómetro. En modo automático de operación, el Algoritmo de navegación de obstáculos verifica el color y evade los objetos ubicados en el ambiente controlado, el cual si no es una posible fuente de olor la evade, caso contrario se posiciona cerca de ella para su análisis.

4.4.2 Pruebas de funcionamiento

Después de la integración de los distintos algoritmos en un sistema automático de navegación y localización de fuentes de olor, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento del mismo. Se coloca al dispositivo móvil en un extremo del ambiente controlado y se registra la ubicación magnética de las direcciones de giro, el cual entra en modo de operación manual. Para proceder al modo de operación automática de búsqueda y localización de fuentes de olor se presiona el botón “5” del joystick, ubicado en la parte superior del mismo como se muestra en la **Figura 82**.



Figura 82 botón 5 del joystick

Al estar en modo automático, el dispositivo móvil empieza su movimiento hacia adelante, cuando se detecta un obstáculo este procede a verificar si el objeto es de color azul. Si el dispositivo móvil detecta que es un obstáculo de color diferente, este

procederá a esquivarlo. Si el algoritmo de navegación realiza una evasión por la derecha, el dispositivo móvil rotará hasta posicionarse en dicha dirección, luego avanzará hasta sobrepasar el obstáculo y procede a rotar nuevamente en posición frontal como se muestra en la **Figura 83**.



Figura 83 Esquivar por la derecha

Se puede dar la posibilidad que el obstáculo que se está evadiendo por la derecha no tenga una posible salida viable a ese lado y se puede generar otro obstáculo como se muestra en la **Figura 84**.



Figura 84 Posible complicación de giro a la derecha

En este caso el algoritmo de navegación de obstáculos realizará una evasión hacia atrás desde la derecha, la cual consiste en retroceder hasta sobrepasar el obstáculo y luego girar en posición frontal como se muestra en la **Figura 85**.



Figura 85 Esquivar hacia atrás (complicación a la derecha)

Caso contrario si el algoritmo de navegación realiza una evasión por la izquierda, el dispositivo móvil rotara hasta posicionarse en dicha dirección, luego avanzara hasta sobrepasar el obstáculo y procede a rotar nuevamente en posición frontal como se muestra en la **Figura 86**.

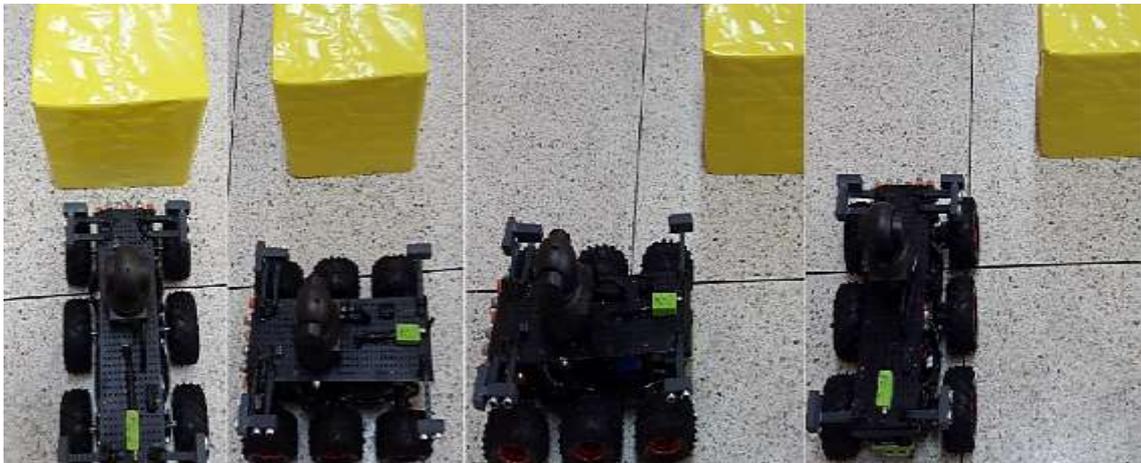


Figura 86 Esquivar por la izquierda

De igual forma se puede dar la posibilidad que el obstáculo que se está evadiendo por la izquierda no tenga una posible salida viable a ese lado y se puede generar otro obstáculo como se muestra en la **Figura 87**.



Figura 87 Posible complicación de giro a la izquierda

En este caso el algoritmo de navegación de obstáculos realizará una evasión hacia atrás desde la izquierda, la cual consiste en retroceder hasta sobrepasar el obstáculo y luego girar en posición frontal como se muestra en la **Figura 88**.



Figura 88 Esquivar hacia atrás (complicación a la izquierda)

En cambio, si el algoritmo de visión artificial detecta al objeto como posible fuente de olor este procede a posicionarse cerca del mismo como se muestra en la **Figura 89**.

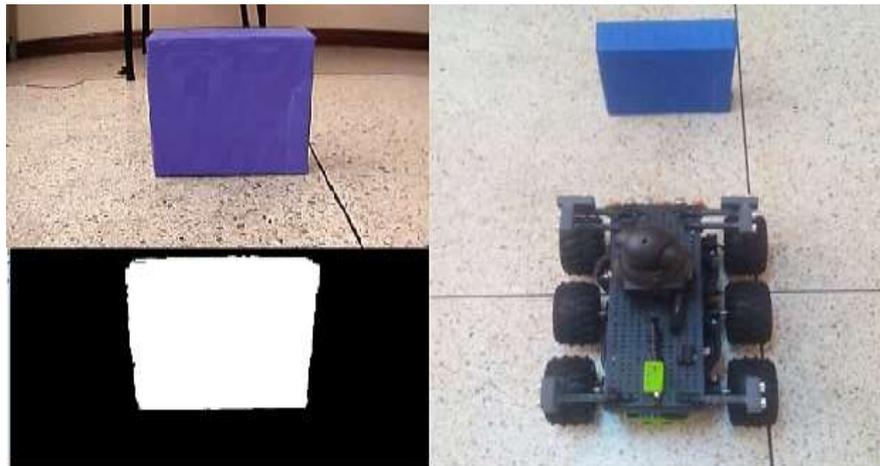


Figura 89 Posible fuente de Olor

Luego de posicionarse cerca de la posible fuente de olor, el dispositivo móvil recolecta la información por el tiempo de 50 segundos, lo que implica generar una matriz de 6 (sensores) x 100 (muestras) para su análisis. Inmediatamente después se suaviza la señal y se hace la reducción dimensional para tener una matriz de 1 (primer componente principal) x 100 (muestras) usando PCA. Los datos del PCA son proyectados en el modelo previamente realizado usando redes neuronales. El resultado final es el análisis de muestra presentado las siguientes respuestas como se muestra en la **Figura 90**.



Figura 90 Respuesta de la red neuronal

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En este capítulo se describen los resultados obtenidos al finalizar el presente proyecto de investigación y las pruebas que se realizaron dentro de un ambiente controlado con y sin obstáculos, con y sin fuentes de olor.

5.1. Prueba del funcionamiento en un ambiente controlado sin obstáculos y sin fuente de olor.

El ambiente controlado a emplearse en esta prueba se muestra en la **Figura 91**, donde se tiene el sistema de evaporación y otra posible fuente de olor sin muestra, también se observa que en la trayectoria recta del robot no hay obstáculos hacia el objetivo.



Figura 91 Ambiente controlado, donde se observa a las fuentes de olor sin muestra y sin obstáculos en la trayectoria recta del dispositivo móvil

Para iniciar el proceso de navegación de obstáculos y localización de olores basado en redes neuronales, se pasa a modo automático de operación; donde el robot se mueve hacia delante hasta detectar el obstáculo, donde seguidamente detecta que si es el color de una posible fuente de olor y se posiciona cerca de ella para su análisis como se muestra en la **Figura 92**.

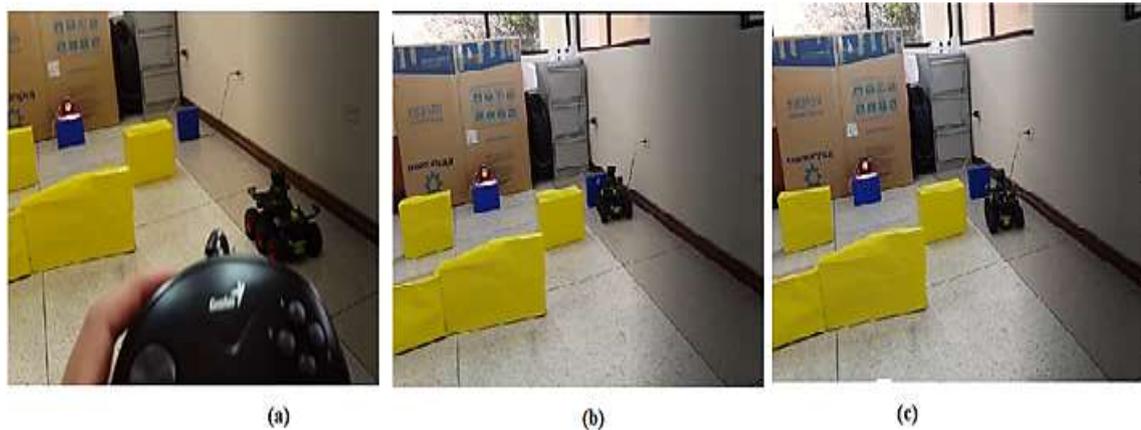


Figura 92 Prueba sin obstáculos y fuente de olor sin muestra. (a) Inicio modo automático. (b) movimiento a delante hacia detectar un obstáculo. (c) detección del color y posicionamiento cerca de posible fuente de olor

Una vez reconocido el color del obstáculo el dispositivo móvil se posiciona cerca de fuente de olor, el cual recolecta la información del ambiente en una matriz de 6 (sensores) x 100 (muestras); seguidamente se realiza el análisis PCA generando la nueva matriz de 1(componente principal) x 100 (muestras) para ingresar a la red neuronal y se presenta el resultado en la pantalla del ordenador como se muestra en la **Figura 93**.

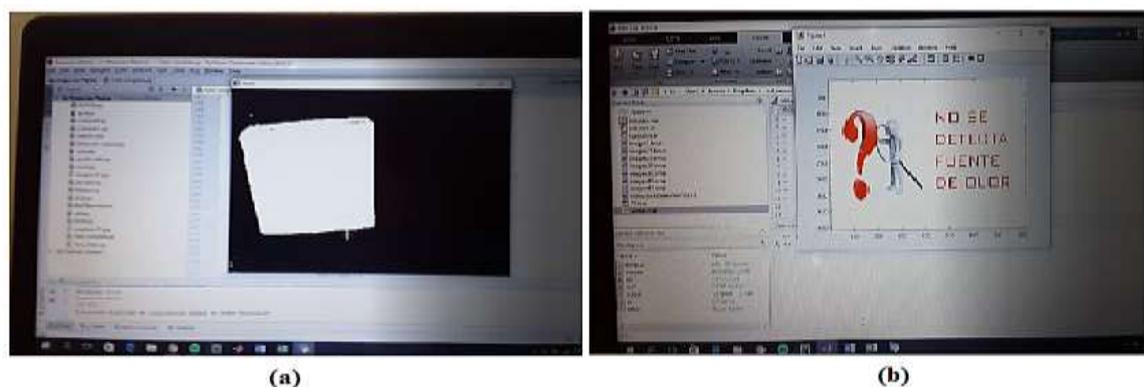


Figura 93 Prueba sin obstáculos y fuente de olor sin muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales

Esta prueba tuvo una duración de 1 minuto 10 segundos, en la cual el dispositivo móvil realizó dos movimientos para posicionarse cerca a la fuente de olor; entregando después del análisis un resultado correcto en donde no se detecta ninguna presencia de muestra en el ambiente, y empieza nuevamente la búsqueda de la fuente de olor hasta que el usuario salga del modo automático.

5.2. Prueba del funcionamiento en un ambiente controlado sin obstáculos y con fuente de olor.

El ambiente controlado a emplearse en esta prueba se muestra en la **Figura 94**, donde se tiene el sistema de evaporación con una muestra de 5ml H₂O + 10ml Alcohol, también se observa que en la trayectoria recta del robot no hay obstáculos hacia el objetivo. Además, el ambiente controlado presenta fugas de aire, debido a ventanas colocadas en la parte superior del mismo.



Figura 94 Ambiente controlado, donde se observa al sistema de evaporación con muestra y sin obstáculos en la trayectoria recta del dispositivo móvil

En modo automático de operación el robot se mueve hacia delante hasta detectar el obstáculo, donde seguidamente detecta que si es el color de una posible fuente de olor y se posiciona cerca de ella para su análisis como se muestra en la **Figura 95**.

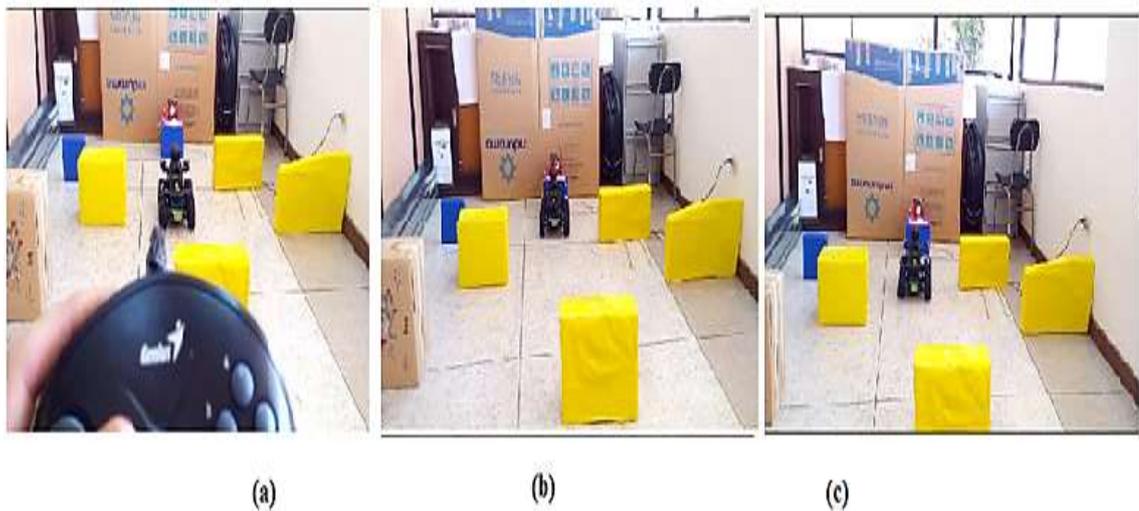


Figura 95 Prueba sin obstáculos y fuente de olor con muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales

De igual forma el dispositivo móvil se posiciona cerca de fuente de olor, el cual recolecta la información del ambiente en una matriz de 6 (sensores) x 100 (muestras); seguidamente se realiza el análisis PCA generando la nueva matriz de 1(componente principal) x 100 (muestras) para ingresar a la red neuronal y se presenta el resultado en la pantalla del ordenador como se muestra en la **Figura 96**.

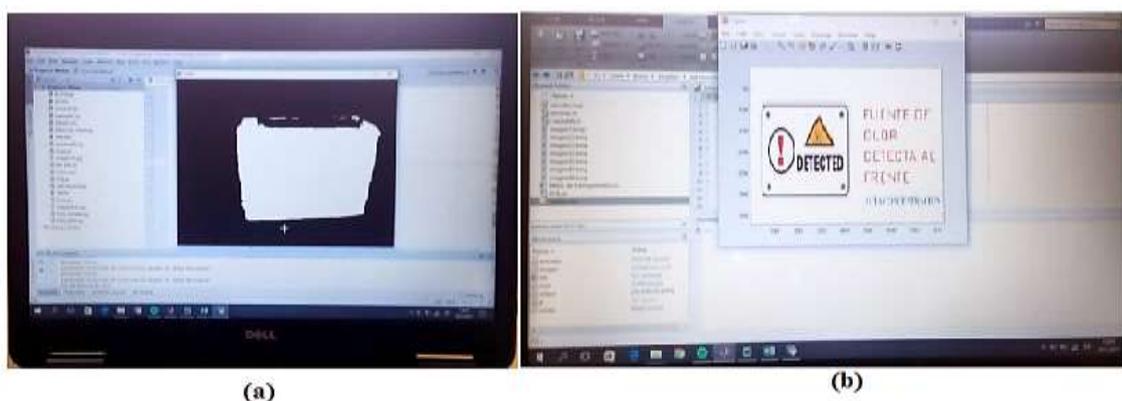


Figura 96 Prueba sin obstáculos y fuente de olor con muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales

Esta prueba tuvo una duración de 1 minuto 15 segundos, en la cual el dispositivo móvil realizó dos movimientos para posicionarse cerca a la fuente de olor; entregando después del análisis un resultado correcto en donde se detecta la fuente en frente con una alta concentración de muestra en el ambiente.

5.3. Prueba del funcionamiento en un ambiente controlado con obstáculos y sin fuente de olor.

El ambiente controlado a emplearse en esta prueba se muestra en la **Figura 97**, donde se tiene el sistema de evaporación sin muestra, también se observa que en la trayectoria recta del robot existe obstáculos hacia el objetivo.



Figura 97 Ambiente controlado, donde se observa al sistema de evaporación sin muestra y con obstáculos en la trayectoria recta del dispositivo móvil

En modo automático de operación el robot se mueve hacia delante hasta detectar el obstáculo, donde seguidamente detecta que no es una fuente de olor y procede a

esquivar el obstáculo por la derecha, avanza recto hasta sobrepasar el obstáculo y se vuelve a girar en posición frontal; el dispositivo móvil navega a través los obstáculos hasta detectar el color de una posible fuente de olor y se posicionarse cerca de ella para su análisis como se muestra en la **Figura 98**.

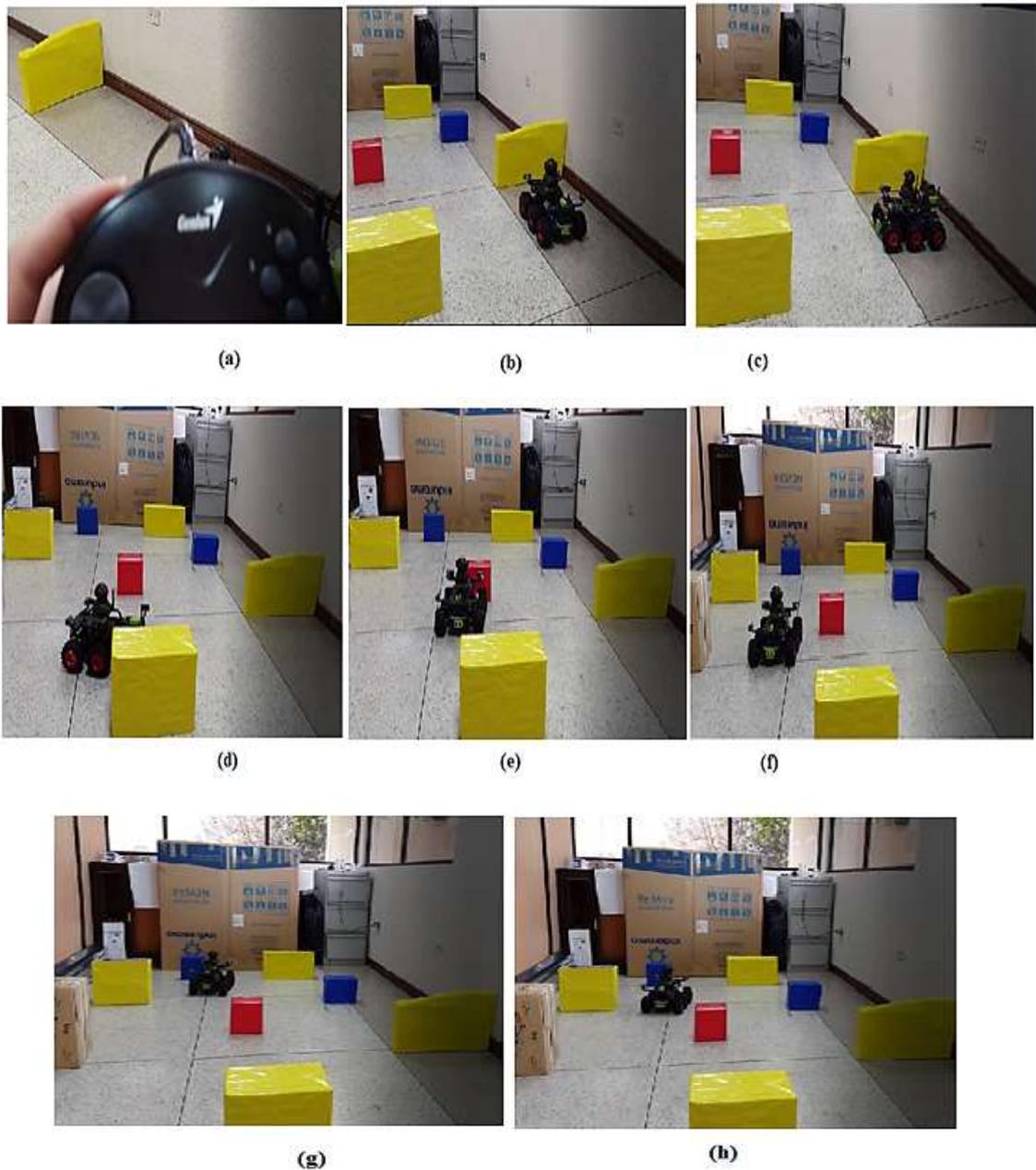


Figura 98 Prueba sin obstáculos y fuente de olor sin muestra. (a) Inicio modo automático. (b) movimiento a delante hacia detectar un obstáculo. (c) esquivar obstáculo por la izquierda. (d) movimiento delante hasta sobrepasar obstáculo. (e) giro a la derecha. (f) esquivar obstáculo por la izquierda. (g) movimiento hacia delante hacia detectar obstáculo. (h) reconocer color y posicionarse cerca de la posible fuente de olor.

De igual forma el dispositivo móvil se posiciona cerca de fuente de olor, el cual recolecta la información del ambiente en una matriz de 6 (sensores) x 100 (muestras); seguidamente se realiza el análisis PCA generando la nueva matriz de 1 (componente principal) x 100 (muestras) para ingresar a la red neuronal y se presenta el resultado en la pantalla del ordenador como se muestra en la **Figura 99**.

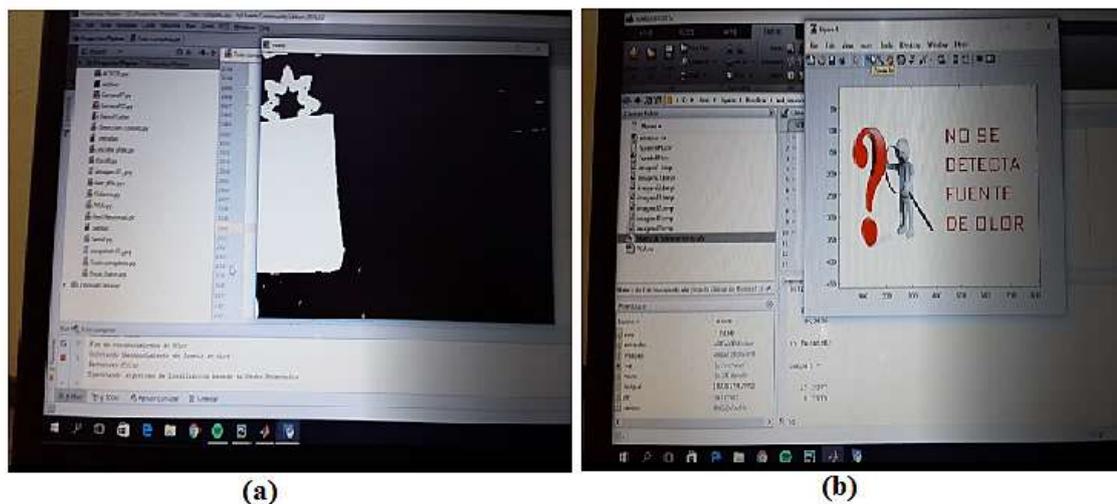


Figura 99 Prueba con obstáculos y fuente de olor sin muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales

Esta prueba tuvo una duración de 1 minuto 50 segundos, en la cual el dispositivo móvil realizó diez movimientos para posicionarse cerca a la fuente de olor; entregando después del análisis un resultado correcto en donde no se detecta ninguna fuente de olor, y empieza nuevamente la búsqueda de la fuente de olor hasta que el usuario salga del modo automático.

5.4. Prueba del funcionamiento en un ambiente controlado con obstáculos y con fuente de olor.

El ambiente controlado a emplearse en esta prueba se muestra en la **Figura 100**, donde se tiene el sistema de evaporación con una muestra de 5ml H₂O + 5ml Alcohol, también se observa que en la trayectoria recta del robot existe obstáculos hacia el objetivo.



Figura 100 Ambiente controlado, donde se observa al sistema de evaporación con muestra y con obstáculos en la trayectoria recta del dispositivo móvil

En modo automático de operación el robot se mueve hacia delante hasta detectar el obstáculo, donde seguidamente detecta que no es una fuente de olor y procede a esquivar el obstáculo por la derecha, avanza recto hasta sobrepasar el obstáculo y se vuelva a girar en posición frontal; el dispositivo móvil navega a través los obstáculos hasta detectar el color de una posible fuente de olor y se posicionarse cerca de ella para su análisis como se muestra en la **Figura 101**.

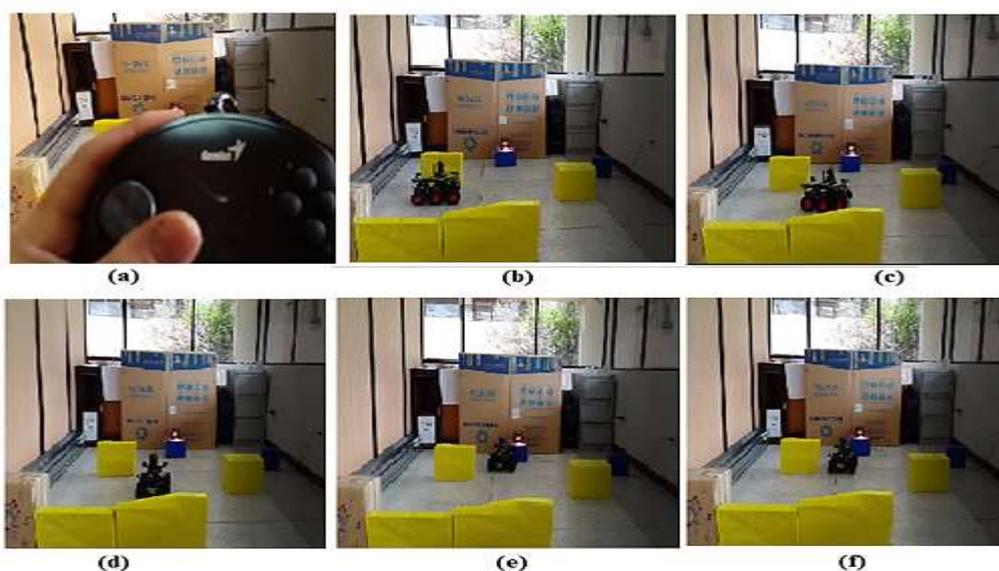


Figura 101 Prueba con obstáculos y fuente de olor con muestra. (a) Inicio modo automático. (b) movimiento a delante hacia detectar un obstáculo. (c) esquivar obstáculo por la derecha. (d) giro a la izquierda. (e) movimiento a delante hacia detectar obstáculo. (f) reconocer color y posicionarse cerca de la posible fuente de olor.

De igual forma el dispositivo móvil se posiciona cerca de fuente de olor, el cual recolecta la información del ambiente en una matriz de 6 (sensores) x 100 (muestras); seguidamente se realiza el análisis PCA generando la nueva matriz de 1 (componente principal) x 100 (muestras) para ingresar a la red neuronal y se presenta el resultado en la pantalla del ordenador como se muestra en la **Figura 102**.

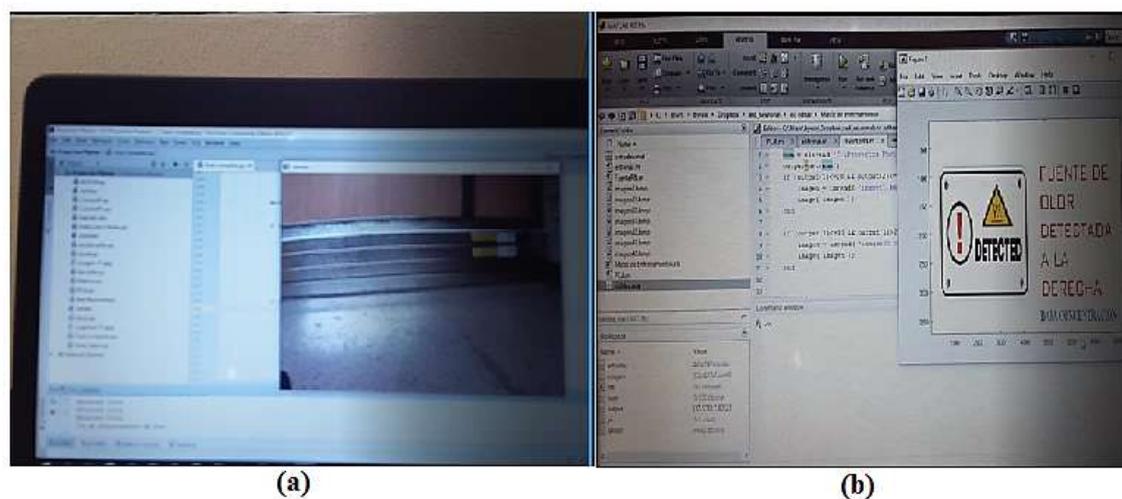


Figura 102 Prueba con obstáculos y fuente de olor con muestra. (a) reconocimiento del color. (b) resultado del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales

Esta prueba tuvo una duración de 2 minutos 10 segundos, en la cual el dispositivo móvil realizó nueve movimientos para posicionarse cerca a la fuente de olor; entregando después del análisis un resultado final incorrecto donde no se detecta la concentración correcta de la muestra, solo la ubicación de la fuente de olor al lado derecho del dispositivo móvil.

5.5. Resultados de las pruebas del funcionamiento en un ambiente controlado con y sin obstáculos, con y sin fuente de olor

Para probar el funcionamiento del sistema se realiza 70 pruebas (véase **Tabla 13**) con el robot y los algoritmos de navegación de obstáculos y localización de olores basado en redes neuronales. En donde se observa que la plataforma móvil responde de manera correcta ante la variación de la posición inicial del robot esquivando los obstáculos, y el cambio de posición y concentración de la fuente de olor en casi la mayoría de los casos.

Tabla 13

Pruebas realizadas

Número de pruebas	Tipo de prueba
13	Sin fuente de olor
23	(5ml H ₂ O + 1ml Alcohol): Baja concentración - 14 al frente - 6 ala derecha - 3 a la izquierda
16	(5ml H ₂ O + 5ml Alcohol): Alta concentración - 8 al frente - 5 ala derecha - 3 a la izquierda
18	(5ml H ₂ O + 10ml Alcohol): Alta concentración - 12 al frente - 3 ala derecha - 3 a la izquierda

El resultado de las pruebas realizadas se muestra en la **Tabla 14**, donde se observa las diferentes pruebas que se realizaron y la cantidad de aciertos y desaciertos de cada una, tanto de la respuesta inicial donde se detecta correctamente una fuente de olor en el ambiente sin depender de la ubicación y concentración; y la respuesta final donde se toma en cuenta tanto la ubicación y concentración de la fuente de olor.

Tabla 14

Resultado de las pruebas realizadas

#	Prueba	Respuesta inicial (se detecta la fuente, pero no su ubicación ni concentración)		Respuesta final (se detecta la ubicación y concentración real de la fuente)	
		Correctas	Incorrectas	Correctas	Incorrectas
13	Sin fuente de olor	11	2	11	2
23	Baja concentración (5ml H ₂ O + 1ml Alcohol)	19	4	15	8
16	Alta concentración (5ml H ₂ O + 5ml Alcohol)	15	1	6	10
18	Alta concentración (5ml H ₂ O + 10ml Alcohol)	17	1	9	9
Resultado		62	8	49	21

En la **Tabla 15**, se muestra la matriz de confusión de las pruebas realizadas sin fuente de olor que contiene información sobre las respuestas reales y predichas del sistema de localización. En donde se tiene que un 89% de los casos positivos predichos fueron correctos de las pruebas realizadas sin fuente de olor; resultando que el algoritmo de aprendizaje supervisado tiene un buen desempeño para detectar la ausencia de la fuente de olor en el ambiente.

Tabla 15

Matriz de confusión sin fuente de olor

		Predicción		
		Hay fuente	No hay fuente	Total
Real	Hay fuente	51	6	57
	No hay fuente	2	11	13
	Total	52	18	70

$$\% \text{ de precisión} = \frac{51 + 11}{70} * 100 = 88,5\%$$

Si se toma en cuenta que la respuesta final del algoritmo de localización de olores basado en redes neuronales entrega la ubicación exacta de la fuente de olor y la concentración de la muestra presente en el ambiente; Se puede decir que de las setenta (70) pruebas realizadas variando la ubicación y concentración de la muestra en la fuente de olor.

El algoritmo fue capaz de detectar satisfactoriamente en 62 pruebas la presencia de una fuente de olor en el ambiente controlado, pero no fue capaz de estimar la posición correcta o concentración dispersa en el ambiente. Por lo tanto, el porcentaje de efectividad en la detección de una fuente de olor en el ambiente es del 89%, tal como se observa en la **Figura 103**.

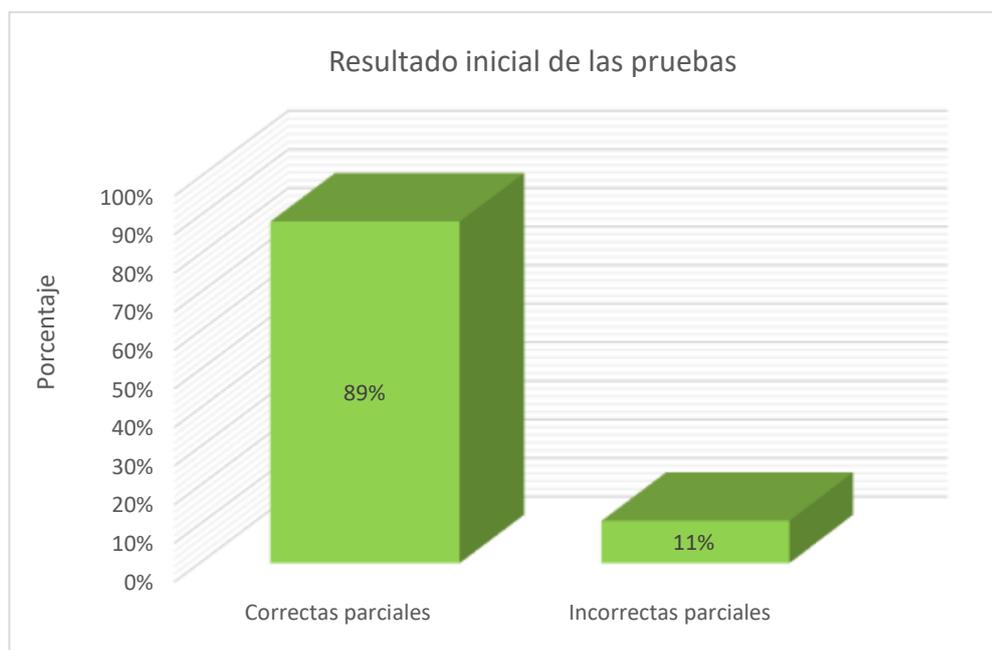


Figura 103 Resultado inicial de las pruebas realizadas en un ambiente controlado con y sin obstáculos, con y sin fuentes de olor.

En la **Tabla 16**, se muestra la matriz de confusión de las pruebas realizadas con fuente de olor cambiando su ubicación (izquierda, centro o derecha), la cual contiene información sobre las respuestas reales y predichas del sistema de localización. En donde se tiene que un 80% de los casos positivos predichos fueron correctos de las pruebas realizadas con fuente de olor variando su ubicación; resultando que el algoritmo de aprendizaje supervisado tiene un buen desempeño para detectar la ubicación de la fuente de olor en el ambiente.

Tabla 16

Matriz de confusión sobre la ubicación de la fuente olor

		Predicción			Total
		Derecha	Frontal	Izquierda	
Real	Derecha	9	5	0	14
	Frontal	0	34	0	34
	Izquierda	2	4	3	9
	Total	11	43	3	57

$$\% \text{ de precisión} = \frac{9 + 34 + 3}{57} * 100 = 80\%$$

En la **Tabla 17**, se muestra la matriz de confusión de las pruebas realizadas con fuente de olor cambiando su concentración (baja o alta), la cual contiene información sobre las respuestas reales y predichas del sistema de localización. En donde se tiene que un 61% de los casos positivos predichos fueron correctos de las pruebas realizadas con fuente de olor variando su concentración; resultando que el algoritmo de aprendizaje supervisado tiene un aceptable desempeño para detectar la concentración de olor en el ambiente.

Tabla 17

Matriz de confusión sobre la concentración de la fuente olor

		Predicción		Total
		Baja concentración	Alta concentración	
Real	Baja concentración	19	4	23
	Alta concentración	18	16	34
	Total	37	18	57

$$\% \text{ de precisión} = \frac{19 + 16}{57} * 100 = 61\%$$

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 haciendo que el robot no sea capaz de identificar la posición o concentración exacta de la fuente de aroma. Además, se necesita que el ambiente este completamente rodeado de aroma para mejorar la detección. Al realizar ajustes a estos parámetros, se obtiene una mejora en la detección de la fuente de olor.

Sin embargo, el algoritmo no es 100% efectivo, tal como se observa en la **Figura 104**, después de realizar las setenta (70) pruebas con los algoritmos de navegación de obstáculos y localización de fuentes de olor basado en redes neuronales integrados en el robot, el dispositivo móvil logró localizar satisfactoriamente 49 de ellas considerando la detección, ubicación y concentración de fuente de olor, por lo que el porcentaje de efectividad en la localización es del 59%.

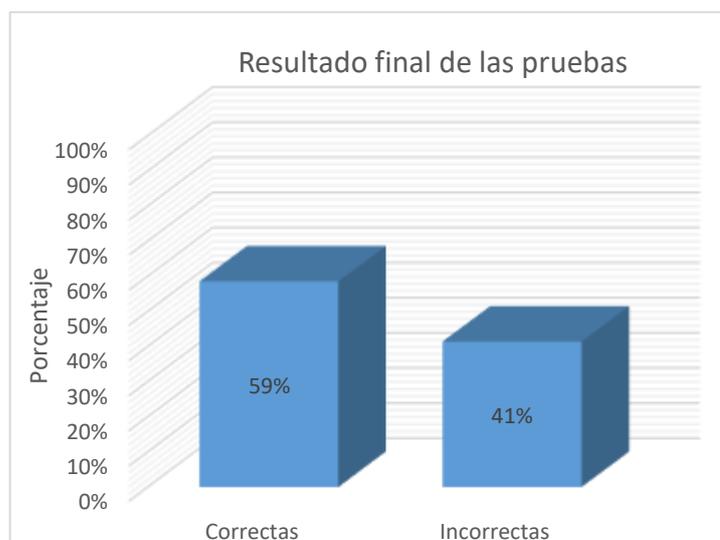


Figura 104 Resultado final de las pruebas realizadas en un ambiente controlado con y sin obstáculos, con y sin fuentes de olor.

En el trabajo previo desarrollado por (Gaibord & Mediavilla, 2016) donde se implementó un sistema robótico con la capacidad de detección de olores dentro del mismo ambiente controlado, el robot móvil después de realizar cincuenta (50) pruebas, el robot logró localizar satisfactoriamente 35 de ellas, entendiéndose como satisfactorio, una distancia menor o igual a 0,5 metros, por lo que el porcentaje de efectividad en la localización es del 70%; en un tiempo promedio de detección de cada prueba de 5 minutos aproximadamente.

Como se observa en los resultados obtenidos, el robot móvil con la nariz electrónica conformada por seis sensores químicos MQ, posee una eficiencia de 89% para detectar la presencia de una fuente de olor en el ambiente, 19% más efectiva que al detectar con la nariz electrónica conformada por dos sensores químicos Figaro implementados en el proyecto de investigación “sistema robótico con la capacidad de detección de olores”.

El trabajo previo no realizaba el análisis de la ubicación o concentración de la fuente de olor; tomando en cuenta una detección real de la muestra tanto concentración en el ambiente como la posición de la fuente de olor, el sistema posee una eficiencia del 59% para detectar la correcta ubicación y concentración del origen del olor.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Incorporando una matriz de sensores químicos en la plataforma móvil es capaz de localizar la ubicación (derecha o izquierda) y la concentración real de la fuente de olor (baja o alta) en el aire a una sustancia de interés en un ambiente controlado con 59% de efectividad.
- La plataforma móvil es capaz de localizar la presencia o ausencia de una fuente de olor en un ambiente controlado con 89% de efectividad, sin tomar en cuenta la ubicación real ni la concentración exacta dispersada en el aire de la misma.
- La aplicación de librerías y herramientas de Software libre como Python 2.7. permitió el desarrollo de diversos algoritmos capaces de funcionar sobre cualquier ordenador con sistemas operativos Windows o Linux de manera sencilla, rápida y económica.
- La implementación de una comunicación RF entre el dispositivo móvil y el ordenador, fue capaz de intercambiar información de manera inalámbrica permitiendo de esa manera la manipulación del robot de manera remota a una distancia máxima de 1000 metros.
- La nariz electrónica conformada por sensores MQ permite medir las concentraciones de olor de una sustancia química en el ambiente para ser procesadas dentro del algoritmo de localización basado en redes neuronales.
- La implementación de sensores ultrasónicos ubicados estratégicamente en la estructura del dispositivo móvil favoreció a la navegación del robot en el ambiente controlado con obstáculos hasta llegar a posicionarse cerca de una posible fuente de olor para su análisis.

- El microcontrolador Arduino DUE montado en la plataforma móvil permitió la creación de un sistema complejo multisensorial ofreciendo mejores características y flexibilidad para el tipo de problemas del ámbito de navegación de obstáculos y localización de fuentes de olor.
- La visión artificial permitió un manejo supervisado del robot en el ambiente controlado, logrando de esa manera una localización de la fuente de olor por medio del reconocimiento discriminatorio entre colores de los obstáculos.
- El uso de redes neuronales artificiales demuestra la capacidad que tienen estos sistemas para el reconocimiento de patrones en el análisis de sensores, logrando de esa manera un desarrollo compacto y portable que facilita el análisis de la muestra en tiempo real, así como la automatización del proceso de sentido y reconociendo de la fuente de olor.

6.2. 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 adecuadas donde no existen flujos irregulares de corrientes de aire para la detección y localización.
- Los obstáculos dentro del ambiente controlado deben tener una área mayor de 10cm² para que se realice una buena evasión de los mismos, evitando de esa manera daños en la estructura del dispositivo móvil.
- Posicionar el ventilador de manera favorable para la dispersión del aroma, de tal manera que se simule un flujo laminar de aire.
- Dentro del ambiente controlado debe existir la claridad de luz semejante a la luz del día para que el sistema de visión artificial reconozca de manera eficiente

el color de los obstáculos, logrando de esa manera una buena discriminación de las posibles fuentes de olor.

- Se debe separar la etapa de potencia y la etapa de control, de tal manera que las corrientes parásitas producidas por la etapa de potencia, no influya en el funcionamiento de la etapa de control.
- Si se desea mejorar la detección de la ubicación y concentración de las posibles fuentes de olor, es necesario aumentar mínimo cien pruebas por cada escenario que conforman la matriz de entrenamiento, con el fin de otorgar la robustez necesaria al sistema para una mejor estimación de la misma.
- Si se desea que el prototipo sea más específico en cuanto a la detección y abarque un área de detección más amplia, se debe agregar hasta tres sensores químicos a la matriz de sensores para aumentar el procesamiento de las señales provenientes del ambiente controlado.
- 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 las pruebas anteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, P., Merizalde, M., & Acero, V. (2011). *Entrenamiento de perros para la detección de cáncer en humanos mediante el olfato*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Acosta, J. (2013). *Diseño e implementación de un algoritmo de estrategias colaborativas entre robots móviles provisto de sensores de olor inteligentes para localizar y posicionar fuentes de olor características*.
- Alegret, D. V. (2004). *Sensores electroquímicos: introducción a los quimiosensores y biosensores*. España: Universidad de Barcelona.
- Aleixandre, E. (2008). *Discriminación del grado de madurez de la fruta de mango*.
- Alfaro, T. (2006). *Conceptos de robotica*. Obtenido de <https://www.inf.utfsm.cl/~noell/SMMC/mat2006/Cap2.pdf>
- Andes. (30 de 11 de 2016). *Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Sudamérica*. Obtenido de Inicio: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-supera-record-decomiso-droga-2016.html>
- ARDUINO. (s.f.). *Arduino DUE*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDue>
- Arévalo, E. Z. (2015). *Implementación de reconocimiento de objetos por color y forma en un robot móvil*. Obtenido de http://www.rcs.cic.ipn.mx/2015_91/Implementacion%20de%20reconocimiento%20de%20objetos%20por%20color%20y%20forma%20en%20un%20robot%20movil.pdf
- Aristondo, J. (2010). *Algoritmo de reconocimiento de forma y color para una plataforma robótica*. Obtenido de España: Universidad del país Vasco: <http://www.ehu.eus/documents/1545039/1570316/10jaristondo.pdf>
- Arjonilla, F. (2011). *Desarrollo e implantación de plataforma robótica móvil en entorno distribuido*. Obtenido de España: Universidad Politécnica de Madrid: <http://tierra.aslab.upm.es/documents/controlled/ASLAB-D-2011-019.pdf>
- Bambino, I. (2008). *Una Introducción a los Robots Móviles*.
- Barbri, E. (2008). *Aplicación de una nariz electrónica portátil para determinar la frescura de sardinas de Marruecos*.
- Berna, A. (2010). *Metal oxide sensors for electronic noses and their application to food analysis*. *Sensors*.
- Biosensores. (s.f.). *MOLECULAR AFFINITY BIOSENSORS*. Obtenido de http://www.biosensores.com/EN/biosensores_afinidad_molecular.php

- Boyle. (2006). *Detectar agentes químicos peligrosos, explosivos y estados de precombustión* .
- Brezmes, L. (2001). “*Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de la maduración de la fruta*”.
- Buitrago, J. (2003). *Aplicación del modelo gaussiano para determinar la calidad del aire de Manizales*. Universidad Nacional de Colombia.
- Canhoto. (2004). *La nariz electrónica para la detección de contaminación causada por hongos en las bibliotecas*.
- Charumporn, & Omatu. (2002). *Clasificación de humos* .
- Company, F. &. (1968). *Capítulo 1 : Introducción, 1–9*.
- Consep. (2012). Plan Nacional de Prevención Integral de Drogas 2012-2013. *Plan Nacional de Prevención Integral de Drogas 2012-2013*, 1-93.
- Corrado, D.-N. (4 de 1995). *Science Direct*. Obtenido de Sensor-array calibration time reduction by dynamic modelling:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0925400595851267>
- Cruz, T. &. (s.f.). *Clasificación de Datos de Olor de Café provenientes de una Nariz Electrónica Utilizando Redes Neuronales*. Obtenido de México: Universidad de Tlaxcala: https://www.researchgate.net/profile/Orion_Reyes-Galaviz/publication/228513703_Clasificacion_de_Datos_de_Olor_de_Cafe_provenientes_de_una_Nariz_Electronica_Utilizando_Red_Neuronales/links/56cf4f0d08ae4d8d649fc03a.pdf
- D., F. G. (2000). *Computational color Constancy, in International Conference on Pattern Recognition, vol. 1* . Barcelona: Spain, pp. 191-196.
- D’Amico. (2008). *Detección de componentes volátiles orgánicos en la respiración como marcadores del cáncer de pulmón* .
- DAGU. (2013). *DAGU educational robot 6WD wild thumper chassis*. Obtenido de <http://www.dagurobot.com/goods.php?id=47>
- DFRobot. (09 de 2008). *APC220 Radio Data Module*. Obtenido de <http://www.robotshop.com/media/files/PDF/dfrobot-apc220-manual.pdf>
- Díaz. (2006). *Nariz electrónica capaz de oler los gases de un volcán* .
- E. Correa, P. B.-A. (s.f.). *Nariz electrónica ¿herramienta para la calidad en la industria agroalimentaria?, 1–10*.
- ElecFreaks. (s.f.). *Ultrasonic Ranging Module HR-SC04*. Obtenido de <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- Electronic-Sensor-Technology. (2007). *Inspección de contenedores, monitorización del aire en edificios de gobierno, del metro de Washington, descripción del*

aire ambiental en aviones comerciales; para detectar olores peligrosos o posibles amenazas de terroristas.

- El-MUNDO-INTERNACIONAL. (2014). *El Mundo*. Obtenido de EEUU señala a Bolivia, Colombia y Perú entre los principales países productores y de tránsito de drogas: <http://www.elmundo.es/internacional/2014/09/16/5417f6d0e2704eb7318b456d.html>
- Espinoza, C. (2006). Es posible una nueva política de narcotráfico en Ecuador? En M. D. EXTERIORES, *Relaciones del Ecuador con sus países Vecinos (Colombia-Peru)* (págs. 117-125). PLANEX 2020.
- Etitudela. (2017). *Visión artificial*. Obtenido de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- Expreso.ec. (13 de 12 de 2014). *Expreso ec*. Obtenido de Su olfato es el aliado contra las drogas: http://expreso.ec/historico/su-olfato-es-el-aliado-contras-las-drogas-LDGR_7378929
- Flores, J., & Carrera, F. (2015). *La eficacia del aprendizaje asociativo en los perros vinculado a la detección de narcóticos en la provincia de Pichincha*. Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- Furton, K., & Myers, L. (2001). *The scientific foundation and efficacy of the use of canines as chemical detectors for explosives*. Obtenido de ScienceDirect : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039914000005464>
- Gaibord, D. &. (2016). *DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO PARA EL ANÁLISIS DE ACETONA EN UN AMBIENTE CONTROLADO*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Gardner, J. (1991). *Detection of vapours and odours from a multisensory array using pattern recognition. Part 1: principal components and cluster analyses. Sensors and Actuators B. vol4, 108-116.*
- Gardner, J. H. (1990). *The application of artificial neural networks in an electronic nose. Vol 1, 446-451.*
- Gardneret. (2000). *Monitorización de la calidad del agua potable .*
- GeekFactory. (s.f.). *Convertidor DC-DC Step-Down (Buck)*. Obtenido de <http://www.geekfactory.mx/tienda/energia/convertidor-dc-dc-step-down-buck/>
- Gonzales, Y. (s.f.). *Aplicaciones de la visión artificial*. Obtenido de http://dmi.uib.es/~ygonzalez/VI/Material_del_Curso/Teoria/Aplicaciones_V C.PDF
- Gonzalez Carvajal, R. P. (2012). *Tecnologías inalámbricas. Seguridad Y Medio Ambiente, 10-21.*

- Goschnick. (2005). *Reconocimientos de sustancias contaminantes en el agua utilizando la nariz Kamina* .
- International-Crisis-Group. (2008). *LA DROGA EN AMÉRICA LATINA I: PERDIENDO LA LUCHA*.
- Kowadlo, G. &. (2016). Obtenido de <http://doi.org/10.1177/0278364908095118>
- Kubiak, A. (2003). *Artificial nose and its application to food evaluation. volumen 11, 27-34*.
- Lamagna. (2008). *Estudio de las emisiones de un río altamente contaminado* .
- Loftus , K. (2007). *Truly Man's Best Friend: Cancer Detection By Means Of Canine Olfaction* .
- Lopez, J., & Negrete, D. (2012). *ESTUDIO PROSPECTIVO AL AÑO 2016, SOBRE EL NARCOTRÁFICO Y SU INCIDENCIA EN FFAA*. Obtenido de repositorio espe: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7970/1/T-ESPE-047576.pdf>
- Ludermir, T. &. (2003). *Neural networks for odor recognition in artificial noses. International Joint Conference on Neural Networks, volumen 1*.
- Luis, L. (2016). *DETECTOR DE GASES CON ARDUINO Y LA FAMILIA DE SENSORES MQ*. Obtenido de <http://www.luisllamas.es/2016/10/arduino-detector-gas-mq/>
- Margin, O. (2004). *Press Release*.
- Matich, D. (03 de 2001). *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*. Obtenido de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora1/monograias/matich-redesneuronales.pdf
- Miekisch. (2004). *Detección de componentes volátiles orgánicos en la respiración como marcadores del cáncer de pulmón* .
- Mizrahi, D. (08 de 11 de 2014). *Infobae*. Obtenido de Los 10 países en los que más se consume y se trafica cocaína: <http://www.infobae.com/2014/11/08/1607378-los-10-paises-los-que-mas-se-consume-y-se-trafica-cocaina/>
- Moreno, I., Caballero, R., Galán, R., Matía, F., & Jiménez, A. (2009). *“La Nariz Electrónica: Estado del Arte”*.
- Nagle. (2002). *como detectar el dióxido de carbono en la atmósfera o el gas refrigerante que se escapa a la atmósfera, o sus mezclas, detectar combustibles de aviones o automóviles*.
- NASA. (2012). *Mars Science Laboratory Curiosity Rover*. Obtenido de <http://mars.nasa.gov/msl/mission/overview/>

- Newegg. (s.f.). *Unique Bargains DC 6-30V Rotary Potentiometer CW Stop CCW PWM Motor Speed Controller Governor*. Obtenido de <https://www.newegg.com/Product/Product.aspx?Item=9SIA27C3TP8494>
- Olimex. (s.f.). *Technical Data MQ-135 Gas Sensor*. Obtenido de <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- Ollero, A. (2001). *Robótica, manipuladores y robots móviles*. . España: Marcombo.
- Percy, L. &. (2003). *EVOLUCIÓN DE LOS MÉTODOS PARA EL RECONOCIMIENTO DE OLORES UTILIZANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES*. . Obtenido de Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.
- Persaud. (2006). *Para la detección de infecciones en el tracto urinario y vaginosis bacteriana*.
- Pividori, M. (2008). *Química bioanalítica*. . Obtenido de Argentina: Universidad Nacional del Litoral.: <http://webs2002.uab.es/ipividori/TP/TP%2008.pdf>
- Policia-Nacional-Colombia. (2011). *Guía para el entrenamiento de caninos al servicio de la Policía Nacional*.
- Pololu. (s.f.). *MQ-2 Semiconductor Sensor for Alcohol*. Obtenido de <https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>
- Pomareda, V. (23 de 07 de 2013). *Universidad de Barcelona*. Obtenido de Tesis Doctorales en Red: <http://www.tdx.cat/handle/10803/119727>
- Pomareda, V., & Marco, S. (2013). “*Signal Processing Approaches to the Detection and Localization of Gas Chemical Sources using Partially Selective Sensors*”.
- 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, Vol 18.
- Rivas, B. (s.f.). *CAPÍTULO IV Transmisión de datos por RF*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/701/A7.pdf?sequence=7>
- RobotPark. (s.f.). *GY-271 ELECTRONIC COMPASS*. Obtenido de http://www.robotpark.com/image/data/PRO/91457/GY_271_ELECTRONIC_COMPASS.pdf
- Ryan. (2001). *Monitorización de contaminantes en el aire de cabinas espaciales*.
- Sayeed, A. &. (2011). *Electronic Nose*. Obtenido de http://www.bioinfopublication.org/files/articles/1_1_2_AMI.pdf

- Schaller, E. B. (1998). *Electronic noses and their application to food*. *LWT - Food Science and Technology*. volumen 31, 305-316.
- Senanayake, M. S. (2014). *Search and tracking algorithms for swarms of robots: A survey*. *Robotics and Autonomous Systems*. Obtenido de <http://doi.org/10.1016/j.robot.2015.08.010>
- Sesé, P., & Colás, M. (2013). “*Signal Processing Approaches to the Detection and Localization of Gas Chemical Sources using Partially Selective Sensors*”.
- Staples. (2007). *Análisis de los olores de explosivos* .
- Stetter, R., & Penrose, R. (2001). *Artificial Chemical Sensing: Olfaction and the Electronic Nose* .
- Szkudlarz, & Jelén. (2008). *Detección de la adulteración del aceite de oliva con el aceite de avellana*.
- Texas-Instruments. (04 de 2013). Obtenido de www.ti.com
- Unidad-Canina-Sunat. (22 de 09 de 2013). *Mayor control. Operativos se llevan a cabo todos los días. (USI)*. Obtenido de Peru21: <http://peru21.pe/opinion/reforzaran-unidad-canina-2150191>
- UTFSM. (2003). *SERVOMOTORES*. Obtenido de <http://www2.elo.utfsm.cl/~mineducagv/docs/ListaDetalladadeModulos/servos.pdf>
- Yobett. (s.f.). *New 2PCS Lm2596 Add Heat Sink DC-DC Buck Adjustable Step Down Power Supply Module Converter Output 1.23v-30v*. Obtenido de https://www.amazon.com/Yobett-Lm2596-Adjustable-Converter-1-23v-30v/dp/B009HPB1OI/ref=lp_14725762011_1_4?srs=147257
- Zhang, E. (2008). *Predicción de la acidez, solubilidad del sólido y firmeza de la pera*.