



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
ROBÓTICO MÓVIL COOPERATIVO PARA DETECCIÓN Y
ANÁLISIS DE INCENDIOS EN AMBIENTES CONTROLADOS

AUTORES: CAIZALUISA GUERRA, BRAYAN ORLANDO
MOROCHO OÑA, MARLON ANDRÉS

DIRECTOR: ING. ERAZO SOSA, ANDRÉS SEBASTIAN MSc.

SANGOLQUÍ

2016



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO MÓVIL COOPERATIVO PARA DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE INCENDIOS EN AMBIENTES CONTROLADOS” realizado por el señor Marlon Andrés Morocho Oña y el señor Brayan Orlando Caizaluisa Guerra, 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 las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor Marlon Andrés Morocho Oña y al señor Brayan Orlando Caizaluisa Guerra para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Diciembre del 2016

ING. ERAZO ANDRÉS MSc

DIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Marlon Andrés Morocho Oña, con cédula de identidad N° 172340712-6, y Brayan Orlando Caizaluisa Guerra con cédula de identidad N° 172109770-5, declaramos que este trabajo de titulación, , “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO MÓVIL COOPERATIVO PARA DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE INCENDIOS EN AMBIENTES CONTROLADOS” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Sangolquí, Diciembre del 2016

MARLON MOROCHO OÑA
C.C.:172340712-6

BRAYAN CAIZALUISA GUERRA
C.C.:172109770-5



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Marlon Andrés Morocho Oña y Brayan Orlando Caizaluisa Guerra, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO MÓVIL COOPERATIVO PARA DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE INCENDIOS EN AMBIENTES CONTROLADOS” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, Diciembre del 2016

MARLON MOROCHO OÑA

C.C:172340712-6

BRAYAN CAIZALUISA GUERRA

C.C:172109770-5

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a “José, Carmita y Ritha” mi familia, quienes me apoyaron desde que inicie esta etapa muy difícil, y me seguirán apoyando con su amor incondicional. Ellos son mi luz.

También dedico a todos aquellos que pusieron su confianza en mí, mis amigos y compañeros. En especial quiero dedicar a mi amigo Stalin Guana (+) este también es tu logro amigo. De manera exclusiva a mi novia Kathy Guallasamin que fue un pilar muy importante en el transcurso del desarrollo de la tesis, por esas palabras de aliento y seguir adelante, es para ti morenita.

Marlon Morocho

A mis padres por estar presente todo el tiempo brindándome todo su apoyo y confianza durante el trayecto de mi carrera, ayudándome a salir adelante corrigiendo fallas y a su vez celebrando mis triunfos que los logre junto a ellos, gracias de todo corazón.

Brayan Caizaluisa

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia, en especial a mi papa que con su ejemplo y dedicación me supo dar consejos para salir adelante en esta etapa de mi vida, gracias por ayudarme a cumplir mis metas como persona y profesional. Gracias a mi mamita Carmita tú eres mi madre y mi padre, gracias por cuidarme.

A mi director de tesis al Ingeniero Andrés Erazo, por sus ideas y apoyo, al grupo de investigación a cargo del Ingeniero Andrés Arcentales e Ingeniera Anita Guamán que me supieron dar la oportunidad para realizar el trabajo de titulación. Gracias a mi compañero de tesis Brayan que nos apoyamos desde el principio para lograr esta meta.

Deseo además dar mi agradecimiento al grupo de investigación sobre el cual está aportando un estudio valioso el presente trabajo de titulación para el proyecto de investigación 2016-PIC009

Marlon Morocho

A Dios por permitirme cumplir un logro más en mi vida, brindándome fortaleza y mucho valor para salir adelante.

A mi familia por el apoyo incondicional que siempre me dieron para poder culminar mi trabajo de investigación.

A mi tutor por las guías y consejos que nos supo colaborar en el transcurso de este tiempo de trabajo.

Deseo además dar mi agradecimiento al grupo de investigación sobre el cual está aportando un estudio valioso el presente trabajo de titulación para el proyecto de investigación 2016-PIC009.

Brayan Caizaluisa

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación e importancia.....	2
1.3. Alcance del proyecto	4
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
CAPÍTULO 2	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. Introducción a la robótica.....	8
2.2. Robótica.....	9
2.3. Robots móviles	9
2.3.1. Robots móviles y de servicio.....	10
2.3.2. Clasificación de los robots móviles.....	10
2.3.2.1. Según el medio donde se desempeñan	10
2.3.2.2. Según el entorno donde se desplazan	13
2.3.2.3. Según su grado de autonomía.....	14
2.4. Robótica cooperativa	14
2.4.1. Características de los sistemas robóticos cooperativos	15
2.4.1.1. Tipo de control en robots cooperativos	15
2.4.2. Ventajas de la robótica cooperativa.....	16

2.4.3. Desventajas de la robótica cooperativa	17
2.4.4. Inconvenientes del uso de robots cooperativos	17
2.5. Sistemas de teleoperación	18
2.5.1. Introducción.....	18
2.5.2. Terminología	19
2.5.3. Elementos y arquitectura	19
2.5.4. Arquitecturas de control en teleoperación	20
2.5.4.1. Control supervisado.....	21
2.5.4.2. Control distribuido	21
2.5.4.3. Control directo.....	22
2.6. Navegación robótica.....	22
2.6.1. Descripción de la navegación.....	23
2.6.2. Etapas de la navegación	23
2.6.3. Enfoques de la navegación	24
2.6.4. Algoritmos para la navegación.....	25
2.7. Formación de robots	25
2.8. Visión artificial.....	26
2.8.1. OpenCV	27
2.8.2. Aplicaciones	28
2.9. Instrumentación en robots móviles tipo orugas.....	29
2.9.1. Clasificación de los sensores	29
2.9.2. Señales de los sensores	29
2.9.3. Características de los sensores	30
2.9.4. Variables medibles	31
2.10. Software de diseño y simulación.....	32
2.10.1. Ubuntu	32
2.10.1.1. Características de Ubuntu.....	32
2.10.1.2. Requisitos	33
2.10.2. Python.....	33
2.10.2.1. Pygame	34
2.10.3. Bascom	34

2.10.3.1. Avr.....	35
2.10.3.2. Atmel studio 6.1	36
2.10.4. Proteus 8 profesional	36
2.10.5. Autocad	37
CAPÍTULO 3.....	38
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS PLATAFORMAS ROBÓTICAS MÓVILES.....	38
3.1. Introducción.....	38
3.2 Conceptos de diseño	39
3.2.1. Selección de la tarea	39
3.2.2. Comportamiento del diseño funcional del sistema robótico móvil.....	39
3.3. Características de robots móviles	41
3.3.1. Plataforma móvil	41
3.3.1.1. Dimensiones	43
3.3.1.2. Características	43
3.3.2. Locomoción por orugas – justificación	44
3.3.2.1. Factores clave	44
3.3.2.2. Características de tracción.....	45
3.4. Tarjeta programable de control	45
3.4.1. Raspberry Pi 3	45
3.4.1.1. Especificaciones de la Raspberry Pi 3.....	46
3.4.1.2. Importancia ROS (Sistema Operativo Robótico).....	47
3.4.2. Transmisión Serial.....	48
3.4.3. Microcontrolador XMEGA 128 A4U	48
3.5. Componentes y módulos de la plataforma robótica	49
3.5.1. Sensor de temperatura MLX90614	49
3.5.1.1. Características	50
3.5.2. Sensor de control de calidad de aire	50
3.5.3. Sensor de distancia por ultrasonido	51
3.5.3.1. Funcionamiento	52
3.5.3.2. Características	52
3.5.4. Módulo L293D para control de motores	53

3.5.4.1. Características	53
3.5.5. Módulo WiFi ESP8266	54
3.5.6. Sensor IMU MPU6050.....	54
3.5.7. Arduino NANO	55
3.5.8. Servomotores	56
3.5.9. WebCam.....	57
3.5.10. Cámara PIXY	57
3.5.11. Resumen de elementos que compone cada minirobot.....	58
3.6. Comunicación.....	62
3.6.1. Comunicación cliente/servidor.....	63
3.6.2. Socket	65
3.7. Energización del Sistema	65
3.8. Conexión y Montaje de la plataforma robótica móvil.....	67
3.8.1. Análisis de requerimientos del diseño	67
CAPÍTULO 4.....	69
DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	69
4.1. Introducción.....	69
4.2. Diseño del controlador centralizado	69
4.2.1. Sistema de control robot líder.....	70
4.2.2. Sistema de control robot seguidor	70
4.2.3. Placas electrónicas.....	71
4.2.3.1. Etapa de rectificación y carga de baterías	71
4.2.3.2. Etapa de Potencia	72
4.2.3.3 Etapa de control y conexión de encoders	73
4.2.3.4. Etapa para conexión de microservos	73
4.2.3.5. Etapa para conexión de sensores	74
4.2.3.6. Etapa de comunicación.....	74
4.2.3.7. Diseño placa terminada en ISIS	75
4.2.3.8. Diseño placa terminada en ARES	76
4.2.4. Diseño del robot líder	77
4.2.5. Diseño de los robots seguidores	79

4.2.5.1. Cámara Pixy	79
4.2.5.2. Módulo WiFi	80
4.2.6. Diseño de la Interfaz.....	80
4.2.7. Funcionalidad de los robots.....	81
CAPÍTULO 5.....	84
PRUEBAS Y RESULTADOS	84
5.1. Introducción.....	84
5.2. Pruebas	85
5.2.1. Conexión Eléctrica	85
5.2.2. Comunicación.....	86
5.2.3. Software de detección de incendios	86
5.2.4. Evasión de obstáculos	87
5.2.5. Lecturas de temperatura y CO2.....	88
5.2.6. IMU- MPU 6050	91
5.3. Análisis de resultados	91
5.3.1. Resultados de temperatura.....	92
5.3.1.1. Análisis de temperatura a 50 cm	92
5.3.1.2. Análisis de temperatura a 75 cm	93
5.3.1.3. Análisis de temperatura a 100 cm	94
5.3.2. Resultados de calidad de aire CO2.....	96
5.3.2.1. Análisis calidad de aire a 50 cm	97
5.3.2.2. Análisis calidad de aire a 75 cm	98
5.3.2.3. Análisis calidad de aire a 100 cm	99
5.3.2.4. Análisis de la energización del sistema	100
CAPÍTULO 6.....	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	103

Índice de Tablas

Tabla 1 Aplicaciones de la visión artificial.....	28
Tabla 2 Características generales de los sensores	30
Tabla 3 Sensores utilizados para medir las diferentes variables	31
Tabla 4 Especificaciones técnicas utilizadas en el proyecto	47
Tabla 5 Características MQ-135	51
Tabla 6 Dispositivos del robot líder	59
Tabla 7 Dispositivos robot móvil seguidor	61
Tabla 8 Corriente total robot líder.....	66
Tabla 9 Corriente total robots seguidores	66
Tabla 10 Especificaciones para el diseño de los minirobots.....	68
Tabla 11 Datos obtenidos a una distancia de 50 cm	89
Tabla 12 Datos obtenidos a una distancia de 75 cm	90
Tabla 13 Datos obtenidos a una distancia de 100 cm	90
Tabla 14 Movimientos de la cabeza con respecto al MPU-6050.....	91
Tabla 15 Cuadro comparativo para valores adquiridos de CO2	97

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema del minirobot con el entorno	2
Figura 2 Robot móvil	10
Figura 3 Robot acuático	11
Figura 4 Robot aéreo	11
Figura 5 Robot deslizante.....	12
Figura 6 Robot rodante.....	12
Figura 7 Robot caminante	13
Figura 8 Robot rodante.....	13
Figura 9 Robótica móvil cooperativa	15
Figura 10 Control centralizado	16
Figura 11 Control distribuido.....	16
Figura 12 Elementos básicos de un sistema de teleoperación.....	19
Figura 13 Arquitecturas de control en telerobótica.....	20
Figura 14 Sistema de control supervisado	21
Figura 15 Control distribuido en cirugía telerobotizada	21
Figura 16 Operación remota de excavadora.....	22
Figura 17 Estructura de navegación libre de mapa	24
Figura 18 Visión artificial	26
Figura 19 Representación RGB	27
Figura 20 Cono de colores HSV	28
Figura 21 Características de ubuntu.....	32
Figura 22 Pygame windows	34
Figura 23 Diagrama funcional robots móviles.....	40
Figura 24 Dagu rover5	41
Figura 25 Caja reductora.....	42
Figura 26 Tracción mediante orugas.....	45

Figura 27 Puertos utilizados de la raspberry PI3	46
Figura 28 Estructura sistema embebido	47
Figura 29 Usb – rs232	48
Figura 30 Xmega 128 A4U	49
Figura 31 Sensor MLX90614	50
Figura 32 Sensor calidad aire MQ-135	51
Figura 33 Sensor HC-SR04.....	52
Figura 34 Diagrama de tiempos	52
Figura 35 Módulo L293D	53
Figura 36 Módulo WiFi ESP8266.....	54
Figura 37 MPU6050.....	55
Figura 38 Arduino NANO	56
Figura 39 Servomotor MG90S.....	57
Figura 40 WebCam	57
Figura 41 Cámara PIXY.....	58
Figura 42 Estructura de la red de comunicación WiFi.....	64
Figura 43 Modelo de aplicación cliente/servidor.....	64
Figura 44 Sistema de control robot líder.....	70
Figura 45 Sistema de control robot seguidor	70
Figura 46 Etapa para cargador de baterías	71
Figura 47 Etapa de potencia para el L293D y motores DC	72
Figura 48 Etapa de control y conexión de encoders	73
Figura 49 Conexión para los microservos.....	74
Figura 50 Conexión de los sensores.....	74
Figura 51 Diagrama de comunicación	75
Figura 52 Placa final minirobots ISIS	75
Figura 53 Placa final minirobots ARES.....	76
Figura 54 Robot líder	77
Figura 55 Diagrama de flujo robot líder	78
Figura 56 Robot Seguidor	79
Figura 57 Interfaz para el usuario	80

Figura 58 Diagrama de flujo robot seguidor	82
Figura 59 Comportamiento minirobots seguidores.....	83
Figura 60 Ambiente controlado con dimensión de 15 m ²	84
Figura 61 Conexión de motores DC.....	85
Figura 62 Pruebas alimentación y comunicación.....	86
Figura 63 Software detección de incendios	87
Figura 64 Prueba evitar obstáculos	88
Figura 65 Toma de datos robots seguidores.....	88
Figura 66 Pruebas sensor MPU-6050	91
Figura 67 Detección fuego	92
Figura 68 Toma de datos a 50 cm de distancia	93
Figura 69 Temperatura tomada a 50 cm de distancia	93
Figura 70 Toma de datos a 75 cm de distancia	94
Figura 71 Temperatura tomada a 50 cm de distancia	94
Figura 72 Toma de datos a 75 cm de distancia	95
Figura 73 Temperatura tomada a 100 cm de distancia	95
Figura 74 CO ₂ a 50 cm de distancia	98
Figura 75 CO ₂ a 75 cm de distancia	99
Figura 76 CO ₂ a 100 cm de distancia	99

RESUMEN

La robótica ha venido transformando la vida del ser humano desde sus inicios; no solo en el ámbito de la industria, sino también se encuentra presente en las diversas tareas cotidianas del ser humano, lo que hace más eficientes las ocupaciones que realiza el individuo. Debido a lo anterior, esto en los últimos años se ha incrementado la utilización de robots móviles para aplicaciones de monitoreo, navegación, vigilancia y seguridad. Dentro del presente proyecto se incluyen diferentes elementos para una correcta navegación y teleoperación de un sistema robótico cooperativo móvil. Dentro de dichos elementos cabe recalcar la cámara de video, la cual transmite en tiempo real el entorno por el cual se desplaza la plataforma robótica y es controlada por el movimiento de la cabeza del usuario. Además, se tiene una interfaz gráfica, la cual permite visualizar el comportamiento de los diferentes sensores, a distancia mediante comunicación tipo WiFi. El proyecto se enfoca en la ayuda que puede ofrecer el sistema robótico en ámbitos de extremo peligro en el sentido de navegación, reconocimiento y análisis en un conato de incendios.

PALABRAS CLAVES:

- **ROBÓTICA**
- **ROBOTS MÓVILES**
- **MONITOREO Y NAVEGACIÓN**
- **COMUNICACIÓN WIFI**
- **ENTORNO CONTROLADO**

ABSTRACT

Robotics has been transforming the life of human beings since its beginning; not only in the field of industry but also is present in several daily tasks of the human being, which makes more efficient the occupations performed by people. Due to the above, in recent years the use of mobile robots has been increased for monitoring, navigation, surveillance and security applications. The present project includes different elements for a correct navigation and teleoperation of a cooperative mobile robotic system. Among these elements the video camera can be emphasized, which transmits in real time the environment by which the robotic platform is moved and controlled using the movement of the user's head. In addition, it has a graphical interface, which allows visualizing the behavior of different sensors, all of this through WiFi communication. The project focuses on the help that the robotic system can be in areas of extreme danger using navigation, recognition, and analysis, for example in a conflagration.

KEYWORDS:

- **ROBOTICS**
- **MOBILE ROBOTS**
- **MONITORING AND NAVIGATION**
- **COMMUNICATION WIFI**
- **CONTROLLED ENVIRONMENT**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE promueve la investigación permite el desarrollo de temas en el diseño e implementación de técnicas de control para plataformas robóticas.

Todo el trabajo de robótica móvil cooperativa comenzó después de la introducción del nuevo paradigma de la robótica de control basado en el comportamiento de autonomía e interacción con el medio. (Brooks, 1986). Este modelo ha tenido una fuerte influencia en la investigación sobre cooperación entre robots, donde se han identificado diferentes tópicos de estudio con multi robots (Mohan & Ponnambalam, 2010).

El campo de los robots cooperativos está cobrando un gran desarrollo, ya que varias aplicaciones que resultan física y computacionalmente complejas, pueden ser solucionadas por estos sistemas robóticos. (Morales, Pozo, Rosero, Sandobalin, & Rodríguez, 2014). La robótica cooperativa es un proceso que requiere de una serie de características que se mencionan a continuación, las mismas que se han tomado en cuenta para el diseño y el montaje de la flota de minirobots del presente proyecto. (Ver figura 1).

- Autonomía: Es la característica por la cual los minirobots operan por sí mismos sin la intervención del hombre u otros minirobots, quienes no tienen control alguno en sus funciones y algoritmos.

- **Habilidad Social:** Los minirobots interactúan con otros minirobots por medio de un lenguaje de comunicación preestablecido.
- **Reactividad:** Los minirobots perciben el ambiente (del medio físico, por medio de una interfaz gráfica, o por medio de otros minirobots) y responden de manera oportuna ante dichos sucesos.
- **Pro- actividad:** Estos son habilitados para tomar iniciativas, con el fin de conseguir la meta propuesta sea vigilancia o navegación en un ambiente controlado. (Tiago, 2016)

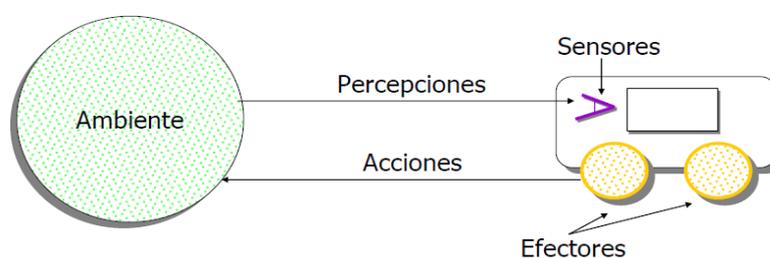


Figura 1 Esquema del minirobot con el entorno

Fuente: (Russell & Norving, 1996)

El presente proyecto se basa en incorporar el mencionado comportamiento en tres minirobots; funcionando dentro de un sistema robótico móvil cooperativo para detección y análisis de incendios en ambientes controlados. El sistema consta principalmente de una flota de tres minirobots que demuestran una conducta líder-seguidor, utilizando la robótica cooperativa con el fin de resolver un problema de manera conjunta.

1.2. Justificación e importancia

El presente proyecto busca dar solución a las principales necesidades en los ámbitos de asistencia en vigilancia, navegación y seguridad en la exploración de ambientes; mediante flotas de minirobots con el comportamiento Líder – Seguidor. Actualmente, los sistemas de múltiples robots tienen varias ventajas sobre sistemas robóticos simples, como finalización de tareas de manera rápida, eficiente localización y mayor tolerancia a fallos.

Un ejemplo práctico de la afirmación previa es en operaciones de búsqueda y rescate. Esto se realiza midiendo variables como la temperatura, la densidad del humo, o la concentración de sustancias explosivas y/o tóxicas; permitiendo conocer dónde se encuentra la mayor concentración de fuego, he incluso la presencia de víctimas. Los robots son capaces de percibir el ambiente en donde se encuentran, analizarlo, y luego con estos datos realizar un plan de acción. Al aplicar este plan de acción, también debe realimentarse las variaciones que éste sufra durante el proceso, y de manera recursiva hacer las correcciones necesarias hasta alcanzar su objetivo.

El uso de flotas de minirobots impacta en las necesidades de diferentes campos y sectores en los que se necesita la interacción de varios robots especializados hacia un fin común. Así surge la necesidad de proveer un sistema robótico que facilite el proceso mencionado, enfocado en el campo de control de incendios, cuyos atributos sean:

- Ayudar al personal de apoyo sobre un conato de incendios para determinar el grado de peligro del evento.
- Salvaguardar la integridad física del personal de apoyo.
- Disminuir la cantidad de especialistas.
- Recopilar información sobre la temperatura del entorno, para lo cual debe llevar los dispositivos sensoriales.
- Realizar un análisis de los datos entregados a cargo de los sensores.

El proyecto plantea las bases fundamentales para el desarrollo de esta tecnología en el país, lo que sirve como una plataforma abierta, para que nuevos investigadores y estudiantes entiendan las complejidades involucradas en la implementación de minirobots cooperativos para detección y análisis de incendios.

1.3. Alcance del proyecto

Se plantea una idea sobre el diseño e implementación de un sistema robótico móvil cooperativo, para la detección y análisis de incendios, como niveles de temperatura dentro de ambientes controlados; mediante la implementación de un modelo adecuado y un comportamiento de la flota de minirobots “Líder- Seguidor”. (Solaque Guzmán, Molina Villa, & Rodríguez Vásquez, 2014)

- En la primera etapa de desarrollo del proyecto se trabaja en las tareas de los minirobots y su dependencia del procesamiento de información del Robot Líder. El comportamiento Líder- Seguidor tiene una analogía con el ser humano que poseen sensores para percibir información (ojos, nariz, etc.); información que procesa el cerebro. Para este caso el Robot Líder tiene la capacidad de identificar una llama de forma gráfica o llama real, para luego enviar esa información a los minirobots. Estos realizan a su vez la tarea de exploración del área afectada (ambiente controlado), manteniendo una formación establecida, para que cada minirobot recopile información de temperatura y emisión de gases.

También dentro de los requerimientos funcionales, se tiene la propuesta de un sistema de multirobots (MRS), de reducidas dimensiones, con un bajo control. Para cumplir este propósito se usan tres plataformas robóticas móviles. Estas plataformas son de iguales capacidades y habilidades. Sin embargo, se integra a cada minirobot tipo seguidor con un sensor electrónico de temperatura y un emisor de gases, que permite un registro de dichas variables. El control que existe sobre el movimiento de los robots es para regular la velocidad y posición de los minirobots en función del robot Líder, sin perder su formación establecida.

El ambiente controlado es una oficina de aproximadamente 15 m², equipada para probar el comportamiento de los robots con diferentes tipos de fuentes de calor y emisión de gases; dispuestos en diferentes lugares para permitir distinguir los niveles de temperatura y humedad en dicha ubicación.

- La segunda etapa de desarrollo del proyecto abarca el diseño donde están los planos electrónicos y de control, diagramas de flujo, selección de materiales y desarrollo del software. La solución más simple es el uso de un robot con un sistema de ruedas, siempre que el terreno sea lo suficientemente duro, de tal manera que permita la tracción de las ruedas sin que genere un deslizamiento considerable. Los robots móviles tienen una estructura, sensores y actuadores, con las siguientes características:

- Estructura mecánica: Soporte plástico con pistas de deslizamiento plásticas tipo oruga, y 4 ruedas incorporadas.
- Actuadores: Motores DC y elementos que interactúan con el entorno.
- Sensores: Elementos que proporcionen información del entorno.

Para el movimiento, se utilizan canales de alimentación para los diferentes motores DC desde una tarjeta de potencia, la cual permite realizar cambios de giro. Se debe tener en cuenta la duración de la batería para el trabajo que se realiza y la complejidad del sistema. También tiene un procesador, el mismo que está a cargo de los siguientes procesos:

- Control del desplazamiento y la velocidad de los robots.
- Procesamiento de imágenes obtenidas a través de la cámara incorporada en el robot Líder.
- Estrategias de control para dar solución a la problemática de generar una formación en un grupo de robots como estructuras virtuales; y con aproximación basada en la conducta líder-seguidor.

El algoritmo de detección y de líder- seguidor funcionan bajo dos circunstancias: el robot Líder va atravesando el terreno detectando eventos de emergencia y los minirobots se dirigen a puntos de interés mediante el procesamiento de la información obtenida a través de la exploración realizada anteriormente. (Germán, 2014)

- La primera circunstancia es conocer la mayor parte posible del ambiente del cual no se tiene ningún conocimiento mediante el uso de procesamiento de imágenes adquirida por la cámara.

- La segunda circunstancia es localizar un objetivo situado en el área, en este caso una emergencia de incendio, tipo vela.

- La tercera etapa del proyecto tiene la implementación propia del sistema mediante una selección de componentes físicos, componentes de comunicación, integración del sistema robótico cooperativo, puesta en marcha y pruebas de funcionamiento.

Una de las maneras más prácticas de trabajar con un robot móvil a distancia es programar sus funciones en una computadora y comandar al robot de manera remota por medio de un enlace. Por tal motivo, se utilizó un sistema de comunicación inalámbrica mediante módulos Wi-Fi para el control de los movimientos y envío de las distintas señales obtenidas hacia el controlador central.

Para una mejor interacción del usuario con el proceso, la aplicación presenta el sistema para controlar el movimiento de la cámara incorporada en el robot líder mediante el movimiento de la cabeza del usuario; el sistema no afecta el comportamiento de los minirobots. El sistema tiene un algoritmo robusto, y funcione correctamente cuando lo operen distintos usuarios. Por medio del software, la interfaz; se pudo determinar un punto de referencia y así tener la posición relativa actual de la cabeza del usuario. Las posiciones son: izquierda, derecha, arriba o abajo.

En cuanto a la interfaz del usuario incorpora la visualización del entorno y los indicadores numéricos de niveles de temperatura y los de emisión de gases como luces de alarmas. Estos datos se registran durante el tiempo que los minirobots realizan la tarea toma de valores.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema robótico móvil cooperativo para detección y análisis de incendios en ambientes controlados.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar e integrar la electrónica básica, de potencia y de instrumentación necesaria para las plataformas robóticas móviles.
- Implementar un sistema de robots móviles, controlados de manera centralizada para que mantengan una formación específica durante una misión.
- Implementar algoritmos de control en robots físicos para obtener los resultados reales de los sistemas diseñados.
- Diseñar una interfaz que permita visualizar el movimiento del robot líder, los niveles de temperatura y emisión de gases de los minirobots seguidores, y las alarmas de la aplicación.
- Controlar el movimiento de la cámara del Robot Líder mediante movimientos de la cabeza del usuario u operador.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción a la robótica

El tema de la robótica hoy en día es relevante en el plan de estudios de ingeniería debido a la capacidad de los robots para realizar trabajos incesantes y peligrosos. El uso de un robot se requiere cuando su intención es la de relevar a un trabajador humano de una labor peligrosa, aburrida, desagradable o demasiada precisa. Bajo dicha perspectiva, un robot es diseñado para que asista a un trabajador humano. (Saha, 2008, pág. 1)

El capítulo presenta una introducción a la robótica móvil cooperativa y todos aquellos conceptos afines a la ciencia de la robótica, teleoperación y navegación de robots móviles. Se realiza la clasificación de los robots móviles de acuerdo a sus diferentes características, se describe la arquitectura general de un robot móvil y se explica cada uno de sus bloques. Además se realiza una revisión detallada de la instrumentación en robots móviles, donde se indica la clasificación de los sensores, el tipo de señales que entregan, las variables que miden y las características que poseen. Todos y cada uno de los puntos a tratarse están enfocados hacia el correcto desarrollo de este proyecto.

2.2. Robótica

La Robótica se define como: la ciencia que se encarga de estudiar el diseño y a su vez la implementación de robots, relacionando diferentes disciplinas entre ellas la mecánica, electrónica, inteligencia artificial, etc. (Tecnalia, 2011). Las leyes de la Robótica fueron establecidas por Isaac Asimov y acreditadas para el futuro en la creación de robots. Estas leyes son:

- Ley Cero: Un robot no puede dañar a la humanidad.
- Primera Ley: Un robot no debe dejar que un ser sufra daño un humano.
- Segunda Ley: Un robot debe obedecer las órdenes que le dé un ser humano.
- Tercera Ley: Un robot debe proteger su propia existencia, siempre y cuando esta protección no esté en conflicto con la primera y la segunda ley.

Estas leyes de la Robótica son las reglas de conducta que comprometerán respetar los robots cuando sean lo suficiente evolucionados para vivir entre los seres humanos. (Español, 2016)

2.3. Robots móviles

El desarrollo de los robots móviles responde a la necesidad de extender el campo de aplicación de los robots, restringidos inicialmente como una estructura mecánica anclada en uno de sus extremos. La autonomía de un robot móvil se basa en el sistema de navegación sin intervención humana. Estos sistemas se utilizan por lo general en tareas de planificación, percepción y control.

El sistema de percepción de un robot móvil o vehículo autónomo tiene un doble objetivo: permitir una navegación segura, detectando y localizando obstáculos, y control reactivo ante situaciones peligrosas en general. Asimismo, el sistema de percepción de estos robots puede aplicarse no sólo para navegar sino también para aplicaciones de retroalimentación de información, tales como el control de una cámara situada en el robot. (Ollero Baturone, 2007)

2.3.1. Robots móviles y de servicio

Los robots móviles llegan a ser más versátiles en aplicaciones de campo y donde se requiera libertad de movimiento. Los robots de servicio son creados con el objetivo de realizar trabajos destinados a la ayuda de la sociedad. Son generalmente usados en tareas de laboratorio, para ayuda a personas con discapacidad, en exploración, operaciones de alto riesgo, entre otros. (Arcin, 2008)(Ver Figura 2).



Figura 2 Robot móvil

Fuente: (Charbonnier, 2015)

Debido a la dificultad de las operaciones que tienen que realizar los robots de servicio, según su tipo de aplicación pueden estar dotados con un potente sistema sensorial.

2.3.2. Clasificación de los robots móviles

Para entender la clasificación de los robots móviles se los ha dividido en las siguientes categorías: (Argudo Cobos & Arpi Saldaña, 2012)

2.3.2.1. Según el medio donde se desempeñan

- Robots Acuáticos

Pueden ser impulsados por diferentes métodos siendo el más común el uso de turbinas y propulsores, sin embargo otros tratan de simular los movimientos ondulatorios de animales acuáticos. (Ver Figura 3).

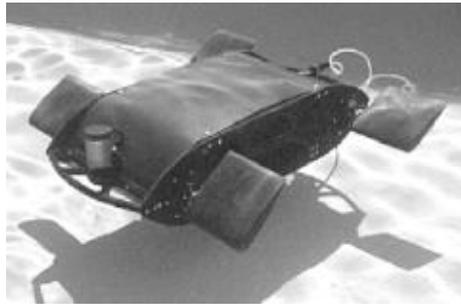


Figura 3 Robot acuático

Fuente: (Balich, 2004)

- Robots Aéreos

Se los utiliza en gran parte para aplicaciones militares y de vigilancia con autonomía. Poseen diferentes medios para desplazarse; como por ejemplo el uso de hélices o turbinas. (Ver Figura 4).



Figura 4 Robot aéreo

Fuente: (Balich, 2004)

- Robots Terrestres

Son robots de navegación en terreno sólido regular o irregular. Se pueden desplazar con diferentes tipos de sistemas de locomoción, elegido según su aplicación. De acuerdo al mecanismo de desplazamiento pueden sub- clasificarse como:

- Deslizantes: Entre las aplicaciones de estos robots se los encuentra en la minería y la industria de gases; a estos se les puede agregar una cámara para poder transmitir información necesaria para el operador. (Ver Figura 5).

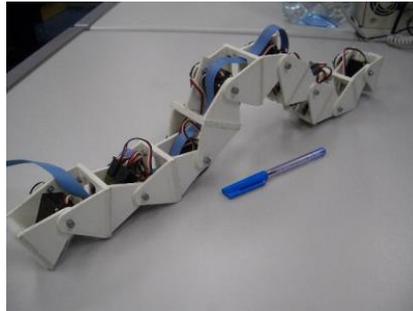


Figura 5 Robot deslizante

Fuente: (Matellán, 2016)

- Rodantes: Su locomoción se realiza mediante ruedas. Pueden soportar una gran carga en relación a otros tipos de robots. (Ver Figura 6).



Figura 6 Robot rodante

Fuente: (Matellán, 2016)

- Caminantes: Se desplazan mediante el uso de extremidades. Pueden clasificarse de acuerdo al número de patas que posean entre ellos se tiene: bípedos, cuadrúpedos, hexápodos, entre otros. (Ver Figura 7).

- Robots para ambientes normales

No están obligados a llevar protecciones ya que funcionan en ambientes con características que no llegan a afectar el funcionamiento del robot. Entre los parámetros del ambiente se tiene: temperatura, radiación, presión atmosférica, gravedad, humedad entre otros.

Para el funcionamiento de esta plataforma robótica se trabajó en ambientes de condiciones normales, en un ambiente controlado que más adelante se detalla sus características.

2.3.2.3. Según su grado de autonomía

- Robots móviles autónomos

Estos pueden tomar decisiones se ha este en situaciones impredecibles, sin la presencia del ser humano para su control. El sistema incorpora estas características debido a que en catástrofes como incendios es muy difícil el acceso para el ser humano.

- Robots móviles Tele-operados

Son aquellos en los cuales la interacción con su entorno así como la toma de decisiones es establecida por el hombre. Su principal inconveniente es la precisión en la relación entre humano y máquina.

2.4. Robótica cooperativa

La robótica cooperativa busca diseñar sistemas compuestos de varios robots capaces de resolver problemas conjuntamente, donde los robots que forman parte de un sistema multi-robot son simples en términos de diseño y control. Además individualmente son menos costosos que los sistemas de un solo robot especializado. (Ver Figura 9). (Rodrigo, 2006)



Figura 9 Robótica móvil cooperativa

Fuente: (Tecnalia, 2011)

Un ejemplo puede ser un sistema de control que permita regular la velocidad y posición de cada robot, mientras el grupo cambia de formación o de dirección. (Molina Villa & Rodríguez Vasquéz, 2014)

2.4.1. Características de los sistemas robóticos cooperativos

Los sistemas cooperativos se pueden clasificar de diversas maneras dando flexibilidad a las acciones a tomar o tareas a realizar. (Cadena Contreras & Moreno Bernal, 2011).

2.4.1.1. Tipo de control en robots cooperativos

Se puede hacer una clasificación preliminar de los sistemas multi-robot en función del tipo de control.

- **Control centralizado**

Los robots adquieren datos a través de sus sensores y toda la información se la envían a la unidad central, que es la encargada de tomar las decisiones. La principal ventaja de éste sistema, es el almacenamiento de toda la información en la unidad central lo cual es más eficiente a la hora de obtener soluciones. (Ver Figura 10).



Figura 10 Control centralizado

Fuente: (Quiñonez, 2010)

- **Control distribuido**

Con éste tipo de control el sistema es mucho más dinámico y rápido, pues no es necesario ni el envío ni el almacenamiento de información. Además, si deja de funcionar un robot, todos los demás pueden seguir funcionando independientemente. (Ver Figura 11).



Figura 11 Control distribuido

Fuente: (Rodrigo, 2006)

2.4.2. Ventajas de la robótica cooperativa

La robótica cooperativa presenta las siguientes ventajas:

- Mejora el rendimiento del grupo de trabajo gracias al ahorro de recursos.
- Al trabajar con varios robots el sistema se vuelve más productivo.
- Permite un sensamiento distribuido en un entorno de trabajo.

- Permite distribuir tareas y reducir costos en la operación.
- Es un sistema más robusto por esta razón se tiene tolerancia a fallas.

2.4.3. Desventajas de la robótica cooperativa

A pesar de las ventajas expuestas previamente, la robótica cooperativa presenta también ciertas debilidades a tomarse en cuenta, como son:

- Al trabajar con varios robots puede volverse complejo, debido a la necesidad de sincronizar los robots, y establecer una comunicación confiable para evitar fallos de transferencia de información y de comportamiento de los robots.
- En el área de trabajo, cada robot puede convertirse en un obstáculo para los demás, dando lugar a que existe una competencia entre ellos en vez de una cooperación.
- El establecer una buena comunicación genera el desarrollo de un sistema costoso, aumentando así el precio final del proyecto. (Apolo Peñaloza & Velasco Barrera, 2013)

2.4.4. Inconvenientes del uso de robots cooperativos

Como se indicó anteriormente, una de las desventajas y tal vez la principal es la propia existencia de más de un robot en el ambiente de la aplicación. Esto produce dos inconvenientes los cuales deben ser resueltos de alguna manera.

- **Interferencias entre robots**

Según el tipo de programación y de control de los distintos robots que forman el sistema, la interferencia entre ellos puede llegar a ser un problema, golpes, choques, distracciones, etc.

- **Incertidumbre respecto a los otros robots**

El sistema pierde eficacia cuando un robot realiza un trabajo que ya ha sido realizado por un compañero suyo, o al contrario, deja de realizar una tarea pensando que ya ha sido realizada. (Rodrigo, 2006)

De manera eficiente, se solvento ambas problemáticas en este proyecto enfocándose y trabajando en soluciones desde la fase de diseño hasta la fase de pruebas, para tener un sistema lo más robusto posible; los cuales tienen la capacidad de mantener las condiciones esenciales de desempeño pese a recibir perturbaciones o ruidos.

2.5. Sistemas de teleoperación

2.5.1. Introducción

Se entiende por teleoperación a la extensión de las capacidades sensoriales y destreza humanas a una aplicación en una localización remota. La intervención del operador puede producirse en formas diferentes; donde cabe hablar de telemanipulación cuando el operador controla un dispositivo específico en una localización remota, o de teleguiado, cuando el operador realiza una tarea como la de guiado de un vehículo sin conductor.

Debido a la existencia de dispositivos mencionados, tales como motores que generan sus movimientos, generalmente se utiliza también el término de teleactuación para referirse a los aspectos específicos de generación de órdenes a dichos elementos. De igual manera, se habla de telesensorización para referirse a la captación y visualización de información sensorial en la localización remota. (Gómez de Gabriel, Ollero Baturone, & García Cerezo, 2006, pág. 1)

2.5.2. Terminología

- Teleoperación

Es la acción que realiza un ser humano al operar o gobernar a distancia un dispositivo. Se puede teleoperar una cámara, una válvula, un manipulador, un vehículo submarino o un robot móvil. El dispositivo generalmente será de tipo móvil e interactuará de una forma muy directa con el entorno.

- Telerobótica

Conjunto de tecnologías que comprenden la monitorización y reprogramación a distancia de un robot por un ser humano. Se tendrá entonces la teleoperación de un robot, que se denomina robot tele-operado. (Barrientos, Peñin, Balaguer, & Aracil, 2007, págs. 486,487)

2.5.3. Elementos y arquitectura

Un sistema de teleoperación consta de los siguientes elementos: (Ver Figura 12)



Figura 12 Elementos básicos de un sistema de teleoperación

Fuente: (Guerrero Ayala, 2014)

- **Operador o teleoperador:** Ser humano que realiza a distancia el control de la operación.
- **Dispositivo teleoperado:** Podrá ser un manipulador, un robot, un vehículo o dispositivo similar.

- **Dispositivos de control:** Conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de teleoperación, permitiendo generar comandos.
- **Dispositivos de realimentación:** Dispositivos que realimenten al operador algún tipo de información de la zona remota.
- **Control y canales de comunicación:** Conjunto de dispositivos que modulan, transmiten y adaptan el conjunto de señales que se transmiten entre la zona remota y la local.
- **Sensores:** Conjunto de dispositivos que recogen la información de la zona remota para ser utilizada por la interfaz y el algoritmo de control. (Barrientos, Peñin, Balaguer, & Aracil, 2007).

2.5.4. Arquitecturas de control en teleoperación

Los sistemas de teleoperación aplicados a la robótica proveen información y requieren comandos que son enviados por el usuario hacia el robot. Sus arquitecturas de control pueden ser descritas de acuerdo a un estilo y nivel de conexión. (Ver Figura 13). Las principales categorías son: control supervisado, control distribuido y control directo. (Díaz Iza, 2014)

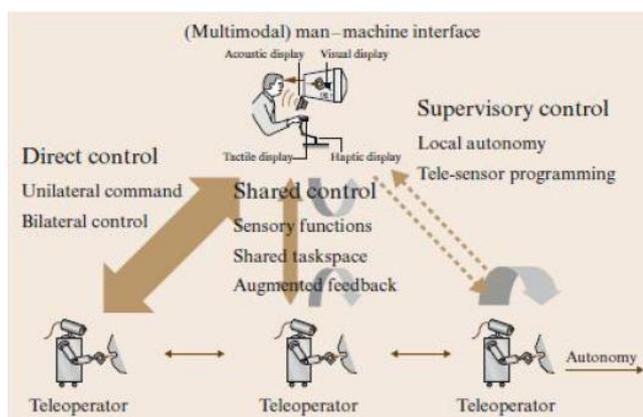


Figura 13 Arquitecturas de control en telerobótica

Fuente: (Siciliano & Khatib, 2008)

2.5.4.1. Control supervisado

El control por supervisión engloba un conjunto de métodos de simulación, planificación y ayuda a la toma de decisiones, soportados por sistemas de información de ayuda al operador en teleoperación. (Ver Figura 14). (Ollero Baturone, 2007)

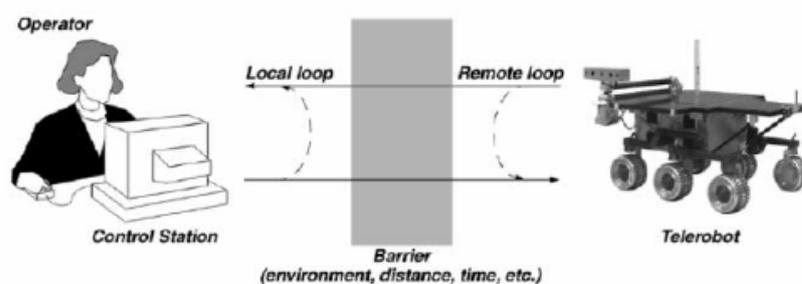


Figura 14 Sistema de control supervisado

Fuente: (Fong & Thorpe, 2001)

2.5.4.2. Control distribuido

La implementación del control distribuido garantiza la seguridad del teleoperador o la tarea que se realiza gracias a esto es posible la telepresencia a largas distancias o en aplicaciones riesgosas (Ver figura 15). (Díaz Iza, 2014)

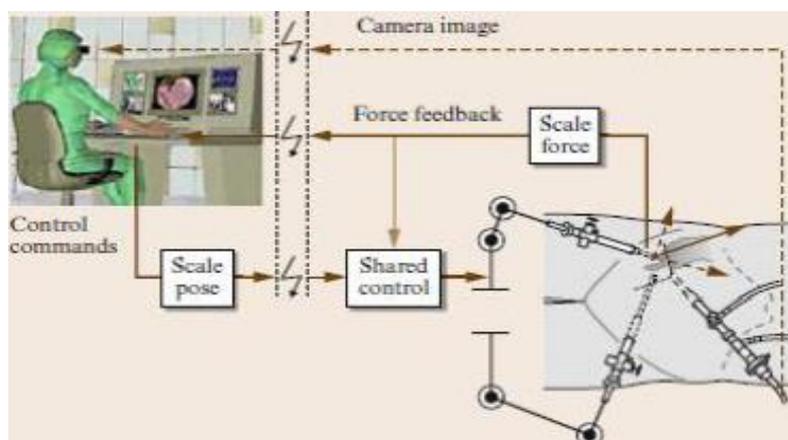


Figura 15 Control distribuido en cirugía telerobotizada

Fuente: (Siciliano & Khatib, 2008)

2.5.4.3. Control directo

Para evitar las dificultades que presentan los sistemas autónomos locales, la mayoría de sistemas tele robóticos incluyen alguna forma de control directo, el cual permite al operador especificar los movimientos del robot a cada momento. (Ver Figura 16). Para este tipo de control se asume un sistema maestro-esclavo. (Díaz Iza, 2014)



Figura 16 Operación remota de excavadora

Fuente: (Siciliano & Khatib, 2008)

En este caso particular, se ha utilizado la teleoperación de tal manera no de controlar al robot, sino de supervisar el entorno.

2.6. Navegación robótica

La utilización de robots móviles en aplicaciones industriales y técnicas es amplia y continúa creciendo. La preferencia para emplear este tipo de dispositivos en el desempeño de una determina función radica en dos puntos principalmente: la fiabilidad, pues los robots móviles pueden ejecutar de forma confiable y continua labores monótonas como la vigilancia; y la accesibilidad, porque en ambientes peligrosos o en espacios estrechos son útiles para sustituir a los humanos; como es el caso del rescate de víctimas en una área de incendio.

Para interactuar de una manera óptima y correcta con el entorno, estos dispositivos autónomos pueden utilizar un conocimiento previo de éste o procesar la información entregada por sus sensores. (Álvarez Romero & Figueroa Montenegro, 2011, págs. 12-18)

2.6.1. Descripción de la navegación

La navegación en un robot es el proceso de guiarlo a través de una trayectoria desde una posición a otra en un área de trabajo. Surgen entonces tres problemas por solucionar en relación a la navegación:

- El primero está relacionado con la auto-localización del robot. En esta, el robot recurre al conocimiento previamente adquirido y a sus observaciones locales, (por medio de encoders acoplados a sus llantas) y externas, para determinar la localización con relación a su entorno.
- La segunda problemática consiste en la identificación de la posición del objetivo con relación al entorno.
- El tercer inconveniente corresponde a la planificación de la trayectoria que permitirá establecer un camino posible desde la posición inicial a la final.

2.6.2. Etapas de la navegación

Para que un robot pueda ejecutar una tarea de navegación, este debe establecer una metodología para comandar su curso a lo largo de un entorno con obstáculos; alcanzando posiciones intermedias hasta llegar a la posición de meta u objetivo. Este proceso demanda el cumplimiento de algunas etapas que al interrelacionarse se efectúa el control de la navegación en el robot. Estas etapas se describen a continuación:

- **Percepción del entorno:** Esta etapa se la lleva a cabo utilizando sensores, un mapa o un modelo del ambiente que se emplea para la navegación.
- **Planificación de la trayectoria:** Esta fase se basa en la descripción del entorno para establecer una secuencia ordenada de posiciones hasta llegar a la posición del objetivo o meta.
- **Generación de la trayectoria:** De forma autónoma los robots móviles deben seguir un camino establecido o empezar a buscar su destino.

- **Seguimiento de la trayectoria:** Es la metodología de efectuar el desplazamiento por medio de comandos de direccionamiento y velocidad, en base a la trayectoria generada.

2.6.3. Enfoques de la navegación

Para la navegación robótica, sus soluciones pueden estar enfocadas en dos categorías principalmente detalladas a continuación:

- **Navegación basada en mapa:** El control en este tipo de navegación corresponde al de un sistema deliberativo, esto quiere decir que antes de tomar una decisión, debe considerar los pros y los contras, ya que las acciones que ejecuta el robot para poder alcanzar su objetivo están en función al modelo del entorno. (Álvarez Romero & Figueroa Montenegro, 2011)
- **Navegación libre de mapa:** Consiste en conducir al robot desde una posición inicial a una posición destino donde, el robot debe ser capaz de navegar en ambientes donde los obstáculos puedan aparecer de repente o no estén previstos en el mapa. (Ver Figura 17).

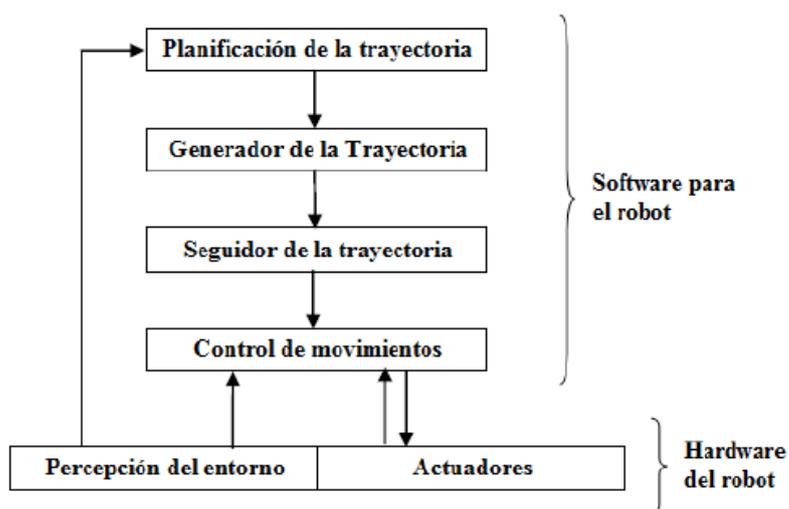


Figura 17 Estructura de navegación libre de mapa

Fuente: (Álvarez Romero & Figueroa Montenegro, 2011)

El control que necesita la navegación libre de mapa es de tipo reactivo, porque permite responder ante estímulos percibidos por sus sensores en tiempo real y no demanda de un modelo preciso del entorno para que el robot se comporte de manera inteligente.

2.6.4. Algoritmos para la navegación

En relación a la tarea de navegación se pueden considerar a dos clases de algoritmos que se enlistan a continuación:

- **Algoritmos fuera línea:** Para emplear un algoritmo fuera de línea se requiere una amplia información acerca del entorno, en la cual, se detalle con exactitud la localización de los obstáculos.
- **Algoritmos en línea:** La información del entorno que tienen los algoritmos en línea es incompleta, por lo cual, la planeación de una trayectoria en estos métodos es un proceso continuo. Para generar las acciones de control se recurre a la información del entorno entregada por los sensores del robot móvil.

2.7. Formación de robots

El uso de sistemas multi-agente ha crecido notablemente en los últimos años ya que facilita tareas como el hallazgo de personas en apuros, la realización de mapas, el transporte de materiales peligrosos para el ser humano, entre otros. Para llevar a cabo la formación de robots múltiples se han propuesto principalmente las siguientes técnicas:

- **Comportamiento grupal:** varios comportamientos deseados son asignados para cada robot, y la acción final de cada robot es derivada mediante la ponderación de la importancia relativa de cada comportamiento.

- **Líder-seguidor:** uno de los robots es designado como el líder, el resto como seguidores. Los robots seguidores tienen que posicionarse con relación al líder manteniendo una posición relativa deseada.

La mayoría de aplicaciones desarrolladas, presentan una configuración líder seguidor para el grupo de robots terrestres, sin embargo hay diversas técnicas para su control. (Riveros Guerrero & Solaque Guzmán, 2013)

2.8. Visión artificial

Se puede definir como un campo de la “Inteligencia Artificial” la cual, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información obtenida a través de imágenes digitales. (Ver Figura 18).



Figura 18 Visión artificial

Fuente: (Neurotechnology, 2004)

La visión artificial la componen un conjunto de procesos destinados a realizar el análisis de imágenes. Estos procesos son: captación de imágenes, memorización de la información, procesado e interpretación de los resultados.

Con la visión artificial se pueden:

- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- Realizar controles de calidad de productos.
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados.

2.8.1. OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision) es una biblioteca de funciones para aplicaciones de visión optimizada para el procesamiento de datos. Además es una herramienta útil para visión computacional, ya que trabaja con imágenes y video el cual facilita la obtención de aplicaciones útiles para un entorno de trabajo, entre ellas se tiene la detección de objetos. (Barranco, Tomasi, Vanegas, Granados, & Díaz)

Dos de las Funciones de interés que presenta esta librería son las siguientes:

- `cvtColor`: Convierte una imagen de RGB a HSV o escala de grises.
- `equalizeHist`: Ecuiliza el histograma de una imagen en escala de grises.

Dichas funciones permiten el trabajo con los siguientes modelos de trabajo:

- **Red Green Blue (RGB)**

Es un sistema para representar los colores que se van a utilizar en la pantalla del ordenador. Rojo, azul y verde. Estos colores pueden combinarse en diversas proporciones del espectro. (Rouse, 2015) (Ver Figura 19).

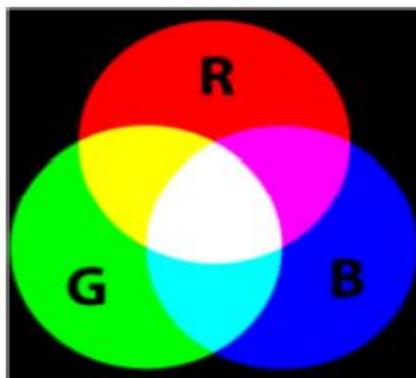


Figura 19 Representación RGB

Fuente: (Aceves, 2012)

- **Hue Saturation Value (HSV)**

Es otro modelo de color cuyas siglas significan: matiz, saturación, valor. Se trata de una transformación no lineal del espacio de colores RGB. (Bautista Moreta, 2014). (Ver Figura 20).

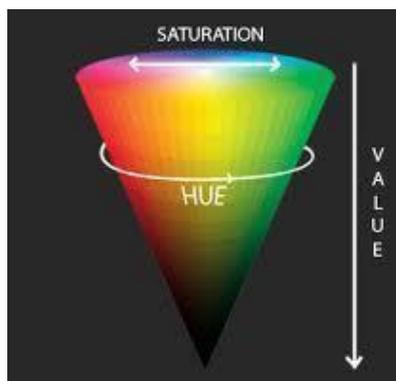


Figura 20 Cono de colores HSV

Fuente: (Bautista Moreta, 2014)

2.8.2. Aplicaciones

El número de aplicaciones relacionadas con la Visión Artificial aumenta cada día. En la siguiente tabla se pueden observar algunos campos donde se emplea esta disciplina. (Ver Tabla 1).

Tabla 1

Aplicaciones de la visión artificial

Área	Aplicación
Control de calidad	Inspección de productos(papel, aluminio, acero)
	Identificación de piezas
	Etiquetados (fechas de caducidad)
	Inspección de circuitos impresos
Robótica	Control de soldaduras
	Guiado de robots (vehículos no tripulados)
Biomédica	Análisis de imágenes de microscopia (virus, células, proteínas)
	Resonancias magnéticas, tomografías, genoma humano

Fuente: (Platero, 2009)

2.9. Instrumentación en robots móviles tipo orugas

La instrumentación hace referencia a los dispositivos o sensores que un robot incorpora y que le sirven para poder captar información de su entorno o de su propio interior. A continuación se explica las clasificaciones y características de los sensores. (Argudo Cobos & Arpi Saldaña, 2012)

2.9.1. Clasificación de los sensores

Existen algunas maneras de clasificar a los sensores, entre las cuales se tiene las siguientes:

- **Por el tipo de variable que mide:**
 - Proprioceptivos: Este tipo de sensores tienen como propósito medir variables internas del robot, y dan información acerca del estado del mismo.
 - Exteroceptivos: Sirven para medir variables del entorno en que se encuentra el robot para tener conocimiento del estado del mismo.

- **Por el lugar en que se encuentra:**
 - Locales: Aquellos que se encuentran montados en el robot.
 - Globales: Sensores que no se encuentran montados en el robot sino que están en su entorno transmitiendo la información hacia el robot.

2.9.2. Señales de los sensores

Los sensores entregan la información de las variables medidas mediante señales eléctricas, las mismas que pueden ser interpretadas mediante circuitos o

dispositivos electrónicos. (Argudo Cobos & Arpi Saldaña, 2012) citado en (Braunl, 2011).

De acuerdo a su modo de manejo de información, los sensores pueden ser más o menos complejos por su nivel de integración:

- **Básico:** Este sensor únicamente se encarga de realizar la transformación de las variables físicas a una señal eléctrica.
- **Integrado:** A más de realizar la transformación básica, este sensor procesa la señal eléctrica para dar información más manejable.
- **Inteligente:** Este sensor puede entregar datos más específicos y relevantes para el usuario.

2.9.3. Características de los sensores

Las características de los sensores son muy importantes para realizar el diseño de un robot. Estas deben ser tomadas en cuenta para dimensionar los dispositivos sensoriales de acuerdo a las variables que el robot debe medir, y de acuerdo a como estos deben incorporarse al sistema. (Argudo Cobos & Arpi Saldaña, 2012) Citado en (Braunl, 2011). En la Tabla 2 se presenta un resumen de las características generales de los sensores.

Tabla 2

Características generales de los sensores

Características Físicas	Características de Laboratorio	Características en el Entorno
Dimensiones	Rango	Sensibilidad
Peso	Rango Dinámico	Sensibilidad cruzada
Alimentación	Resolución	Error sistemático
Consumo	Linealidad	Error aleatorio
Resistencia a impacto	Ancho de Banda	Exactitud

Fuente: (Argudo Cobos & Arpi Saldaña, 2012) Citado en (Braunl, 2011).

2.9.4. Variables medibles

Para que un robot pueda percibir su entorno y transmitir esa información hacia el usuario, este debe cuantificar las variables físicas a las que se enfrenta. En la Tabla 3 se puede detallar alguna de ellas. (Argudo Cobos & Arpi Saldaña, 2012)

Tabla 3

Sensores utilizados para medir las diferentes variables

Variable	Sensores
Tacto	<ul style="list-style-type: none"> Interruptor de contacto Detector de colisión Fin de carrera Barrera óptica Sensor de proximidad
Fuerza	<ul style="list-style-type: none"> Sensor de fuerza lineal Sensor de fuerza rotativa
Movimiento y velocidad	<ul style="list-style-type: none"> Encoder Acelerómetro Sensor de razón de giro
Posición relativa al entorno	<ul style="list-style-type: none"> GPS Compás Encoder Acelerómetros y Sensores de razón de giro
Orientación	<ul style="list-style-type: none"> Giroscopio Inclinómetro Potenciómetro Resolver
Distancia	<ul style="list-style-type: none"> Sensor por ultrasónico Sensor por infrarrojo Sensor por laser

Fuente: (Argudo Cobos & Arpi Saldaña, 2012)

2.10. Software de diseño y simulación

Dentro del software de diseño y simulación se va a tener diferentes aplicaciones y programas empleados para las pruebas e implementación del sistema robótico. A continuación se mencionan las principales características de los mismos.

2.10.1. Ubuntu

Es un sistema operativo basado en GNU/Linux y que se distribuye como software libre. Tiene un fuerte enfoque en la facilidad de uso de tal manera que el usuario se sienta cómodo utilizando el sistema operativo. (Canonical, 2016). (Ver Figura 21).

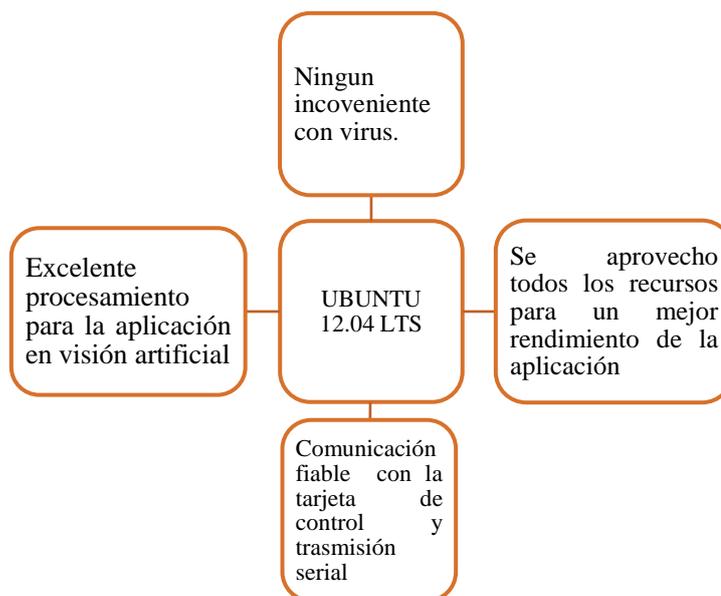


Figura 21 Características de ubuntu

2.10.1.1. Características de Ubuntu

Ubuntu presenta características sobre el desarrollo de aplicaciones y el comportamiento del sistema operativo en general. Dentro de este proyecto se puede destacar las siguientes características:

- **Aplicaciones de ubuntu:** Entre las aplicaciones utilizadas se tiene la navegabilidad del escritorio remoto, la compartición de información del disco duro, comunicación inalámbrica sin restricciones, y la ejecución en el terminal por medio de código python.
- **Seguridad y accesibilidad:** Dentro del sistema operativo incluye funciones avanzadas de seguridad para trabajar sin inconvenientes. En tareas de administración se posee una herramienta llamada *sudo*, con la que se puede acceder a diferentes acciones del administrador y configuración sin limitantes.

2.10.1.2. Requisitos

Los requisitos mínimos recomendados, necesarios para permitir ejecutar una instalación de Ubuntu 12.04 LTS son los siguientes

- Procesador x86 a 700 MHz.
- Memoria RAM de 512 Mb.
- Disco Duro de 5 GB.
- Capacidad para crear una red y comunicación con la tarjeta de control.
- Procesamiento en información de manera rápida y oportuna.
- Drivers para la transmisión serial y manejo del acelerómetro.
- Recursos necesarios para realizar una correcta aplicación de visión Artificial.

2.10.2. Python

Es un lenguaje de programación que permite realizar cualquier tipo de aplicaciones que son útiles en el campo de la electrónica, tiene diferentes librerías que nos permiten interacciones con el usuario y otros programas de interés.

Una ventaja del uso de este software fue que el intérprete de Python cuenta con una línea de comandos que permite a los programadores nuevos en el lenguaje obtener retroalimentación instantánea. (Python, 2016)

2.10.2.1. Pygame

Es un lenguaje que permite crear videojuegos de una manera sencilla, donde se puede tener diferentes prototipos los cuales son desarrollados rápidamente, este lenguaje es muy usado ya que se puede tener trabajos profesionales para los usuarios.

La interfaz que se realizó fue intuitiva y de fácil manejo para el usuario por medio de código Python, en esta interfaz se muestra la imagen de la cámara del robot líder. Los indicadores de temperatura y emisión de gases de cada minirobot seguidor, y las alarmas de la aplicación. (Ver Figura 22).



Figura 22 Pygame windows

2.10.3. Bascom

Es un software que permite programar a los microcontroladores AVR (tiny, ATmega). El uso de BASCOM; permite elegir el dispositivo que vamos a programar, los puertos que se va utilizar y también cuenta con posibilidad de simular el programa. (Feise-uta, 2016).

Bascom es una aplicación para PC que permite:

- Escribir programas en Basic.
- Traducir estos programas en el PC para código máquina.
- Simular el código compilado.
- El uso de programas externos de flash.
- El código compilado grabar en un microcontrolador ATMEL AVR.

Bascom permite crear rápidamente prototipos y manejar salidas para transmisiones de datos tales como:

- Contadores / temporizadores
- UART
- ADC
- PWM
- I2C

Para esta aplicación todo el sistema de control se encuentra en cada microcontrolador ATMEGA, compilado y ejecutado en el programa BASCOM.; el mismo que fue de gran ayuda por el tipo de programación para entender y ejecutar el sistema robótico móvil sin inconvenientes.

2.10.3.1. Avr

La familia de microcontroladores AVR es bastante extensa y todas comparten el mismo núcleo AVR, pero tienen distintos periféricos y cantidades de RAM y ROM y con una amplia gama de variantes en:

- Tamaño del programa de la memoria (flash)
- Tamaño de la memoria EEPROM
- Suministro de alta corriente en los puertos de I / O
- Características de los chips UART y ADC
- Arquitectura cerrada

Los microcontroladores AVR tienen la forma de ejecutar cada instrucción mediante la metodología 'pipeline' con dos etapas (cargar y ejecutar), que les permite ejecutar la mayoría de las instrucciones en un ciclo de reloj. (Microchip, 2016)

2.10.3.2. Atmel studio 6.1

Atmel studio ha sido actualizado para utilizar la versión 2015 de la Visual Studio Shell, mejorando no sólo la apariencia del entorno de desarrollo integrado (IDE), sino también el rendimiento cuando se trabaja con grandes proyectos. Atmel Studio también trae varias mejoras de productividad para el editor, como se mencionan a continuación: (Microchip, 2016)

- Navegabilidad
- Pruebas de simulación en línea del código
- Barra de herramientas para compilar el programa realizado en Bascom.
- Selección del tipo de programador y microcontrolador en donde se va a grabar la información del código realizado.
- Avisos de posibles fallos ante una compilación errónea.
- Fiabilidad y comunicación con otros programas de compilación externa.

2.10.4. Proteus 8 profesional

El software está conformado por dos dispositivos principales: ISIS y ARES. El primero de ellos será el encargado de la generación de circuitos; y en cuanto ARES convierte el diseño de modo que pueda ser implementado en un circuito impreso. Una ventaja que ofrece estas herramientas es la de evaluar el funcionamiento de un circuito de manera paralela en simulación y en una PCB. De ese modo se evita errores y se corrige las posibles fallas. (Electronics, 2016)

En este proyecto, el uso de proteus fue para el diseño electrónico de las placas PBC de los diferentes robots, debido a que su software tiene todas las aplicaciones necesarias para trabajar.

2.10.5. Autocad

Es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. AutoCAD proporciona interfaces de programación de aplicaciones (API) que se pueden utilizar para determinar las diferentes características de los dibujos y las bases de datos. También permite acceder a varios comandos desde las interfaces del menú para diferentes tareas de dibujo en el CAD.

Se utiliza para dibujar los planos mecánicos de los minirobots de nuestra aplicación.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS PLATAFORMAS ROBÓTICAS MÓVILES

3.1. Introducción

En este capítulo se describen los parámetros de diseño, la especificación de la tarea a realizar y el funcionamiento del sistema en general, basándose en características de la aplicación y en las características del medio en el que van a desempeñar sus funciones de navegación, seguimiento y formación de las plataformas robótica móviles.

También en el desarrollo del capítulo se detallan las características de las plataformas robóticas móviles, toda la parte del hardware; como son los sensores utilizados, cámaras incorporadas en cada robot móvil y las diferentes conexiones de los elementos pertenecientes a la placa electrónica. Además, se describe todos los componentes utilizados y la corriente que consume cada uno de ellos en el robot móvil, que es un punto muy importante para tener en cuenta en el tiempo de funcionamiento de las plataformas robóticas móviles.

3.2 Conceptos de diseño

En el desarrollo de la aplicación el sistema robótico móvil busca una fuente de calor para lo cual se tiene un robot móvil líder y dos robots móviles seguidores. El diseño del robot móvil Líder y robots móviles seguidores parte de un diagrama funcional en el que se establecen los requisitos fundamentales del sistema.

3.2.1. Selección de la tarea

Para esta aplicación se utiliza la tarea de buscar y detectar una fuente de calor a una cierta distancia (1 metro) sin contacto de las plataformas robóticas móviles; se selecciona esta tarea con el fin de obtener resultados y análisis de temperatura y CO₂ dentro de un ambiente controlado; para lo cual se tiene un robot móvil líder que por medio de una cámara incorporada en su estructura tiene la función de detectar la fuente de calor por medio de una aplicación de visión artificial y mediante una comunicación tipo WIFI enviar una señal a los dos robots móviles seguidores para que salgan y tomen los datos de temperatura y CO₂ cerca de la fuente de calor; estos datos se muestran en una interfaz; luego los robots móviles seguidores vuelvan a su posición inicial es decir atrás del robot líder

3.2.2. Comportamiento del diseño funcional del sistema robótico móvil

El diseño incorpora la implementación tanto del sistema mecánico como del electrónico. Se indican las conexiones entre los dispositivos de control y demás elementos electrónicos, y se implementa de igual manera el diseño del sistema de control con la prueba de distintos algoritmos escogiendo el más óptimo para la puesta en marcha del sistema robótico. En la figura 23, se puede observar el diseño que se compone cada robot móvil, con sus diferentes elementos y funciones.

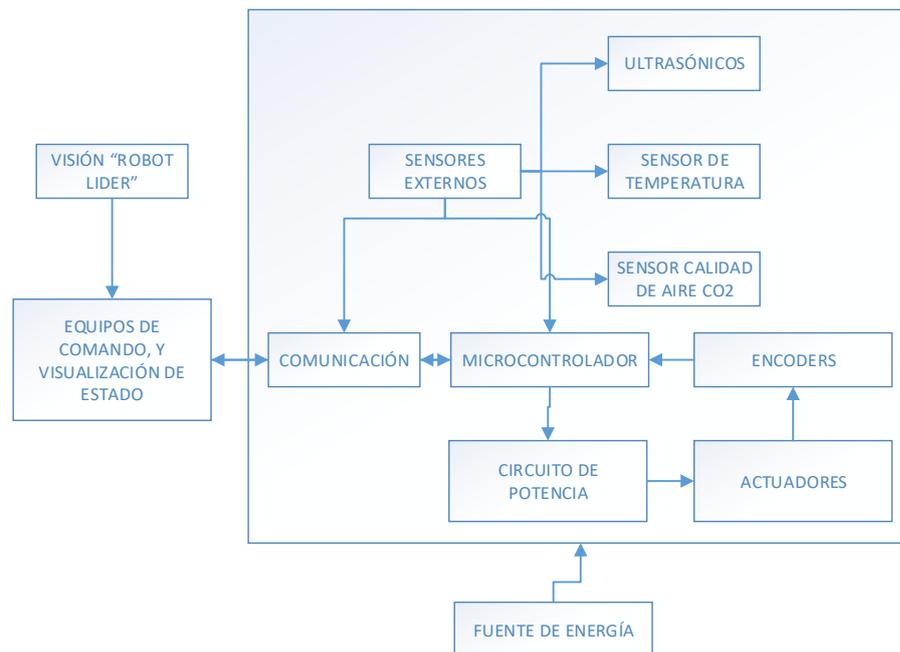


Figura 23 Diagrama funcional robots móviles

La unidad central de procesamiento es a la que se conectará el resto de bloques; esta envía comandos hacia el bloque de potencia, recibe datos de los sensores y del dispositivo para la visión. El bloque de comunicación está ligado con el bloque central; por el cual se envía la información hacia el usuario; por medio de una interfaz en la PC.

El sistema está compuesto por un robot móvil Líder y dos robots móviles seguidores. La configuración de hardware entre el robot móvil líder y los robots móviles seguidores son similares, en su estructura. Cabe recalcar que solo los robots móviles seguidores tienen los sensores de temperatura y CO2. A continuación se hace una descripción detallada de las plataformas robóticas móviles, sus sistemas de instrumentación, alimentación, etapa de potencia entre otros aspectos importantes.

3.3. Características de robots móviles

Para el diseño de un robot se consideran distintas alternativas y soluciones para los problemas a los que un robot se enfrenta. Dependiendo de los requerimientos del usuario, se debe analizar los siguientes factores:

- Entorno
- Forma física del robot
- Movimientos de navegación
- Software de control

3.3.1. Plataforma móvil

Los sistemas de locomoción basados en orugas se emplean para misiones de rescate en estructuras colapsadas, requiriendo así del uso de plataformas con capacidad de navegación en terrenos reducidos. En este caso el proyecto a desarrollarse se lo implementará con la plataforma CHASIS ROBOT ROVER5. (Ver Figura 24).



Figura 24 Dagu rover5

Fuente: (Rodríguez Díaz & Vargas Vilatuña, 2016)

La plataforma Chasis Robot Rover5 es un tipo de robot móvil con un chasis de orugas convencional. Tiene una buena tracción y buen desempeño en el terreno a explorar por sus bandas “elásticas” de rodadura de goma. (Rodríguez Díaz & Vargas Vilatuña, 2016)

Para obtener el movimiento del chasis se utilizó un controlador de robot que hace impulsar los motores DC incorporados. El chasis cuenta con un cuerpo de plástico blanco resistente con espacio para albergar el soporte de la batería y de algunos componentes electrónicos adicionales.

Los potentes motores con caja reductora 87:1 son lo suficientemente fuertes como para levantar el peso del chasis de 1,6 libras y alcanzar velocidades de hasta 25 cm/s con una carga adicional de 1,2 libras y velocidad de 20 cm/s.

Una característica única de este chasis es la capacidad de ajustar su altura y, por lo tanto, el espacio libre debajo de su cuerpo, cambiando los ángulos en que la caja reductora está montada. Mediante un sistema de dientes, se puede engranar la caja reductora con el cuerpo del chasis. También se puede hacer ajustes en incrementos de 5° , para lo cual se desenrosca el soporte de metal en el interior del chasis, quitando la caja reductora, e insertándola en un ángulo diferente. (Ver Figura 25). Las orugas de goma elástica mantienen la suficiente tensión con los diferentes ángulos de la caja reductora, permitiendo variar la altura del chasis en una cantidad total de 3,8 cm.

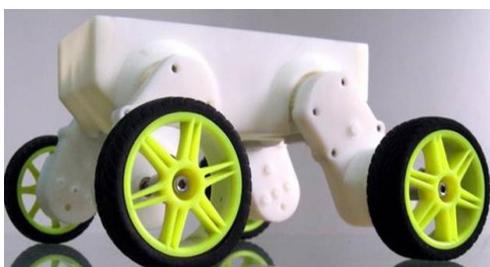


Figura 25 Caja reductora

Fuente: (Robot, 2016)

3.3.1.1. Dimensiones

La plataforma Chasis Robot Rover5 tiene como dimensiones exteriores y sin carga adicional las siguientes

- Largo : 24,5 cm
- Ancho: 22,5 cm
- Altura: 7,5 cm
- Peso: 1,6 libras (0,72 kg)

En el ANEXO 3 se indican las diferentes vistas de la plataforma robótica.

3.3.1.2. Características

La plataforma, posee además algunas características y herramientas necesarias que nos permite realizar una investigación en el área de la robótica móvil. A continuación se indica aquellas que influenciaron para el desarrollo del proyecto; se tiene en cuenta las características que nos proporciona el sitio web donde se adquirió las plataformas robóticas. (Robot, 2016)

- Material:
 - Plástico: Tipo PC (Policarbonato)
 - Temperatura: -100° C a 135°C
 - Factor de Disipación: 1 MHz 0.01%
 - Resistividad Superficial: $10^{15} \Omega.m$
 - Coeficiente de fricción: 0,31
 - Absorción de agua (24 horas): 0.1 %
- Soporte de 6 baterías AA
- Motores DC:
 - Voltaje: 7.2V
 - Corriente: 210 mA ejecución libre y 2,4A de corriente a 7,2 V (con carga)
 - Codificadores de cuadratura: Encoders Tipo Ortogonal
 - Resolución del encoders: 1000 cada tres cambios.

- Velocidad máxima de 25 cm/s en 7,2 V
- Capacidad para escalar pendientes limitados solamente por la fricción hasta un máximo de 45° en esta aplicación.
- Torque de salida del eje: 10Kg*cm

3.3.2. Locomoción por orugas – justificación

Para tener un buen comportamiento de los minirobots, depende del sistema de locomoción que se utilice y la importancia del sistema de tracción por orugas; ya que es un factor importante y está relacionado con las propiedades geográficas del terreno. Para ello se evaluaron los siguientes aspectos: (Ramirez, Aviles, & Hernández, 2014)

- **Transitabilidad:** Es la capacidad de maniobrar por un terreno de distinta naturaleza (sitios rocosos, arenosos, lodosos).
- **Maniobrabilidad:** Es la capacidad de direccionar el robot.
- **Terrenobrabilidad:** Es la capacidad de sobrepasar obstáculos.

3.3.2.1. Factores clave

Para la elección del tipo de oruga, se tomó en cuenta algunos factores que influyen en la realización del proyecto de investigación: (Ramirez, Aviles, & Hernández, 2014)

- **Descarrilamiento:** No se deben salir de sus sistemas de guías.
- **Transmisión de torque:** Este factor garantiza que el movimiento rotacional.
- **Agarre:** Se considera que cuanto más alto sea el agarre, mejor es el sistema.
- **Duración de la oruga:** Referente a la vida útil de la misma o de sus componentes como su labrado o sistemas de guías.

3.3.2.2. Características de tracción

Es importante indicar que en estas plataformas su exactitud en el direccionamiento viene a ser más dificultoso a altas velocidades, debido al deslizamiento y a la resistencia de las huellas desiguales, causadas por las fuerzas centrífugas del movimiento. (Ver Figura 26)

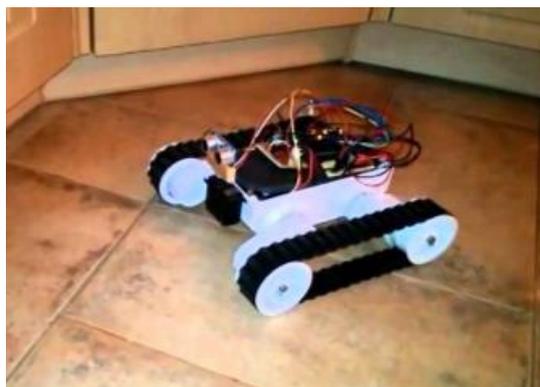


Figura 26 Tracción mediante orugas

Fuente: (Ramirez, Aviles, & Hernández, 2014)

3.4. Tarjeta programable de control

3.4.1. Raspberry Pi 3

Todos los elementos del hardware necesarios para el funcionamiento del sistema robótico móvil; son gobernados por las diferentes órdenes e instrucciones que se generan en el software; de tal manera se utiliza para el proyecto el sistema embebido Raspberry Pi3. A continuación se mencionan los diferentes datos relevantes enfocados a la implementación de nuestro proyecto del sistema robótico:

- Dentro del sistema robótico móvil se tiene los algoritmos de control.
- Se escoge el sistema embebido móvil para la implementación de algoritmos de procesamiento de imágenes, por sus características de alta velocidad de procesamiento.

- La Raspberry Pi 3 se utiliza asimismo como un servidor de datos; es decir la tarjeta de control ya viene incorporada conexiones de tipo Bluetooth y WiFi.
- También esta tarjeta de control es capaz de funcionar con diversos sistemas operativos como es en este caso GNU/Linux. (Barrero Arce & Robayo Restrepo, 2015). (Ver Tabla 4)

Para la aplicación se utilizaron los puertos indicados en la siguiente imagen (Ver Figura 27). En el ANEXO 8 indica todos los puertos de la Raspberry Pi3.

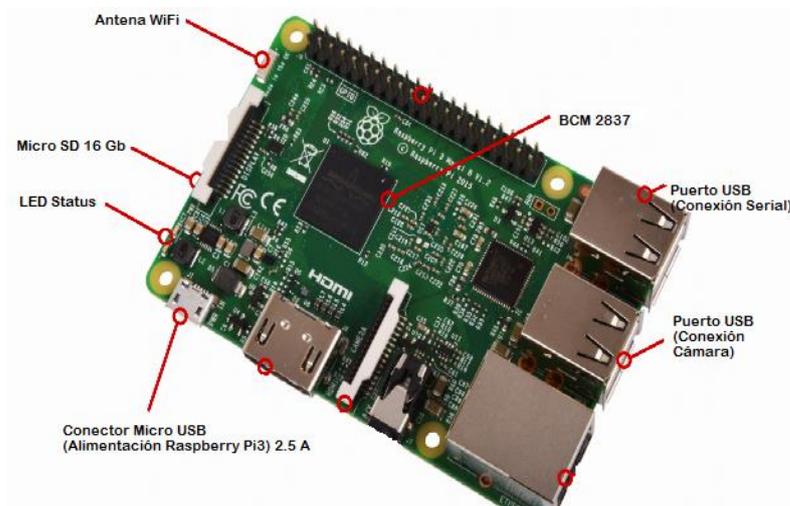


Figura 27 Puertos utilizados de la raspberry PI3

Fuente: (Raspberry, 2016)

3.4.1.1. Especificaciones de la Raspberry Pi 3

Para la aplicación del sistema robótico móvil cooperativo, se utilizaron algunas de las características establecidas por la tarjeta Raspberry Pi3. Las más importantes y utilizadas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4**Especificaciones técnicas utilizadas en el proyecto**

Características	Especificación
CPU	1,2 GHz de cuatro núcleos ARM Cortex-A53
GPU (Procesador Gráfico)	Chipset Broadcom BCM2387
Memoria	RAM: 1GB LPDDR2.
Red	Inalámbrica WiFi 802,11
USB	(2) Puertos USB Conector Transmisión Serial Conector Cámara Webcam
Almacenamiento	Tarjeta Micro SD 16 GB
Alimentación	Micro USB 5V/2,5A

Fuente: (Barrero Arce & Robayo Restrepo, 2015)

3.4.1.2. Importancia ROS (Sistema Operativo Robótico)

- Programación para visión por computadora en tiempo real.
- La ejecución del sistema en Python; es capaz de operar datos obtenidos por la cámara a bordo, modificarlos e interpretarlos.
- Manejo de la comunicación, mediante etapas envío y recepción de datos que proporciona la cámara a bordo y comunicación con el sistema embebido. (Ver Figura 28).

**Figura 28 Estructura sistema embebido**

Fuente: (Barrero Arce & Robayo Restrepo, 2015)

3.4.2. Transmisión Serial

La transmisión serial produce la recepción y transmisión de datos mediante el USB- RS232 (Ver Figura 29), de la computadora hacia el sistema embebido y viceversa. Los datos que se recibe y se envía del IMU –MPU 6050 para controlar el movimiento de la cámara incorporada en el robot líder, están compuestos por el ángulo de giro de la cabeza de izquierda a derecha (40°), arriba hacia abajo (45°).

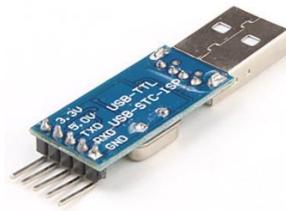


Figura 29 Usb – rs232

Fuente: (Beemster, 2016)

Dentro de la aplicación, el robot líder envía una alerta de incendio detectada por la cámara avisando que detecto fuego, y esta información es transmitida de forma serial al sistema embebido para luego de ahí enviar vía WiFi a los robots seguidores.

3.4.3. Microcontrolador XMEGA 128 A4U

Ofrecen la mejor combinación posible de rendimiento en tiempo real. Dentro del proyecto se utiliza este microcontrolador en los tres minirobots, utilizando los puertos en su totalidad para activación y diferentes tareas del microcontrolador. (Ver Figura 30).

Características Principales:

- **Rendimiento en tiempo real:** Tiempo de respuesta predecible 100%
- **Alimentación:** Operación de 1.6V a 100 nA.
- **Alta integración:** Salidas (PWM), UART, (I2C) y canales SPI.
- **Conectividad USB:** Funcionamiento a toda velocidad y sin la necesidad de cristales externos.

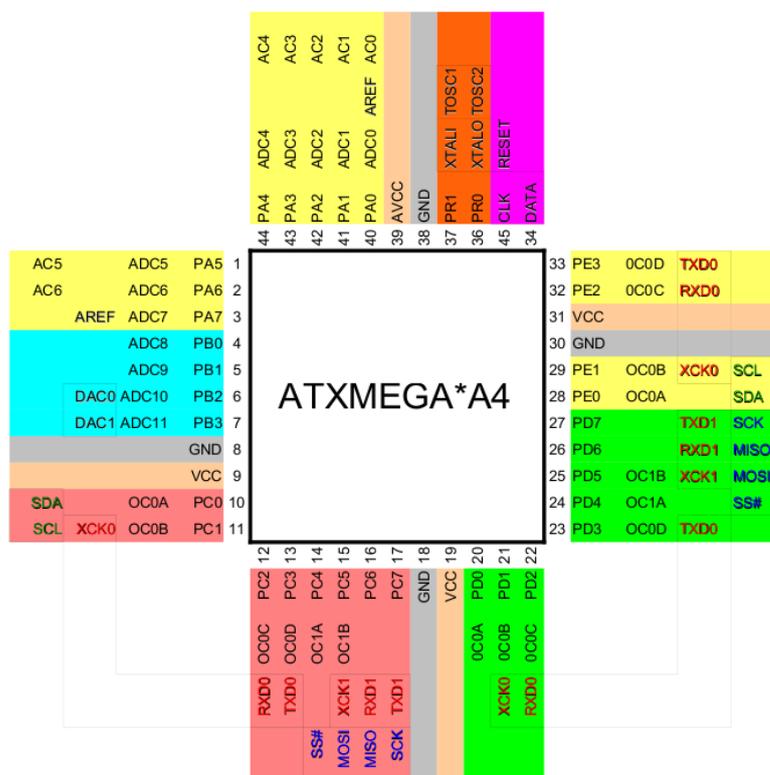


Figura 30 Xmega 128 A4U

Fuente: (Microchip, 2016)

3.5. Componentes y módulos de la plataforma robótica

3.5.1. Sensor de temperatura MLX90614

El MLX90614; es un sensor pasivo unidireccional, que detecta la radiación del objeto a medir. Este funge como dispositivo principal para el funcionamiento del sistema; ya que es el encargado de la interacción con el objeto o superficie en estudio para captar la variable de temperatura.

Tiene la capacidad de medir temperatura mediante la captación de radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión, lo cual significa que toma lectura de datos sin estar en contacto directo con la superficie de los materiales. El sensor estructuralmente consta de un chip de silicio con una fina

membrana micro mecanizada sensible a la radiación infrarroja de un objeto distante. La temperatura de salida digital es linealizada y compensada completamente contra las variaciones de la temperatura ambiente. (Texas I. , 2016). (Ver Figura 31).

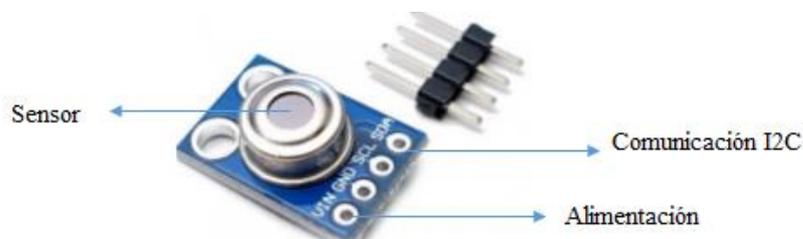


Figura 31 Sensor MLX90614

Fuente: (Refactron, 2016)

3.5.1.1. Características

- Mediciones de temperatura sin contacto
- Calibrado de fábrica
 - 40 A + 85 ° C para la temperatura del sensor
 - 70 A + 380 ° C para la temperatura del objeto
- Interfaz I2C
- Resolución de la medición de 0,02 ° C
- Fuente de alimentación 4.5V ~ 5V. (Refactron, 2016)

3.5.2. Sensor de control de calidad de aire

El sensor MQ-135 utilizado para el control de calidad de aire, detecta la contaminación en el medio ambiente, de gases como NH₃, NO, alcohol, benceno, humo, CO₂, etc. Es implementado en circuitos de control, en sitios donde se desea medir y prevenir altos niveles de contaminación. (Ver Figura 32).

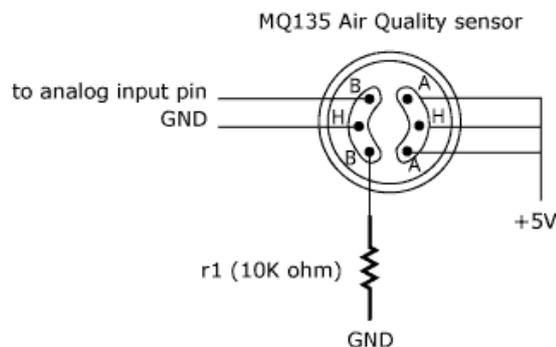


Figura 32 Sensor calidad aire MQ-135

Fuente: (Vistronica, 2016)

La señal de salida que proporciona el MQ-135 es dual de carácter analógico y digital. Respecto a la señal analógica proporcionada, esta viene a ser directamente proporcional al incremento de CO₂ (dióxido de carbono), por lo que esta señal puede ser procesada por un microcontrolador; como entrada o salida, según las necesidades del usuario. (Vistronica, 2016) (Ver Tabla 5)

Tabla 5

Características MQ-135

Parámetros	MQ-135
Voltaje de operación	5V
Corriente de operación	150mA
Potencia de consumo	80mW
Temperatura de operación	-20°C a +70°C

Fuente: (TechnicalData)

3.5.3. Sensor de distancia por ultrasonido

El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos idóneo para detectar objetos y a su vez calcular su distancia. Los sonidos escuchados están en el rango de 16Hz a 20Hz. Tiene bajo consumo de corriente, gran precisión para el momento de su detección y cálculos de distancia. (Ver Figura 33).

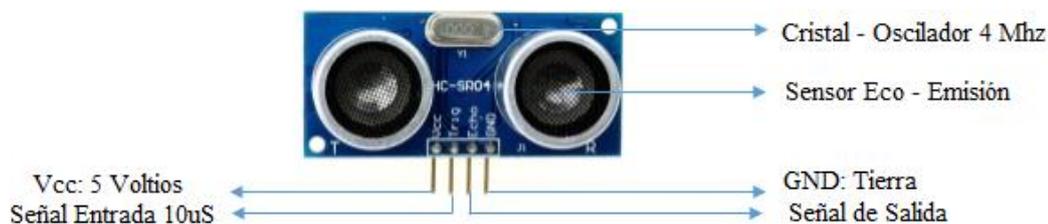


Figura 33 Sensor HC-SR04

Fuente: (Rodriguez Borja & Sandobalin Guaman, 2013)

3.5.3.1. Funcionamiento

Se aplica un pulso de disparo o trigger de 10 (uS) microsegundos de duración mínima. Para iniciar la secuencia el módulo transmite un tren de pulsos de 8 ciclos a 40Khz. Esto produce que la señal de salida ECO cambie a nivel “1”. Cuando la señal transmitida pasa a nivel “0”, es resultado del rebote en un objeto de dicha señal. El tiempo que la señal eco se mantiene en “1” es la que se debe calcular para obtener los resultados requeridos. (Ver Figura 34).

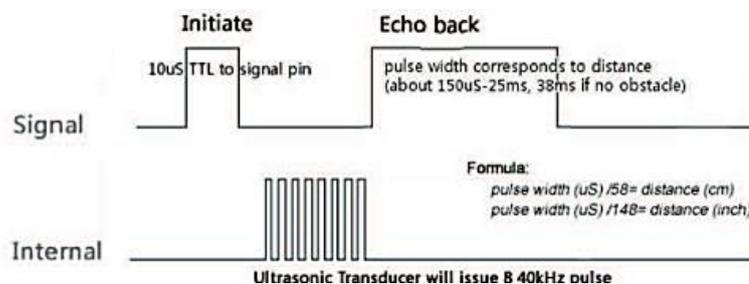


Figura 34 Diagrama de tiempos

Fuente: (Rodriguez Borja & Sandobalin Guaman, 2013)

3.5.3.2. Características

Las características técnicas que presenta el sensor de distancia por ultrasonido son los siguientes:

- Fuente de alimentación: 5 V
- Corriente de trabajo: 15 mA
- Corriente en reposo: < 2 mA

- Angulo efectivo: < 15 grados
- Distancia de alcance: 2 cm – 400 cm

3.5.4. Módulo L293D para control de motores

El integrado L293D es útil para operar cargas de potencia media como motores pequeños. Puede controlar una corriente de hasta 600 mA y trabaja con una tensión entre 4,5V a 36V. En el proyecto se utiliza dos encapsulados L293D, uno para cada robot; de esta manera, se evita el sobrecalentamiento del chip por las corrientes que tienen los motores DC. (Texas I. , 2016)(Ver Figura 35).

3.5.4.1. Características

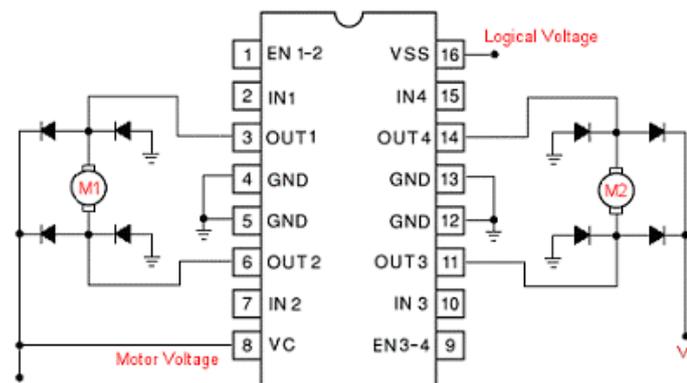


Figura 35 Módulo L293D

Fuente: (Texas I. , 2016)

Contiene dos circuitos de excitación de puente en H incorporadas. En su modo de funcionamiento común, dos motores de corriente continua pueden ser accionados simultáneamente, tanto en dirección de avance y marcha atrás. Las operaciones de motor de dos motores son controlados por la lógica de entrada en las patillas 2,7 ,10 y 15. Al ingresar la lógica de entrada 00 o 11, se detiene el motor correspondiente. La lógica 01 y 10 girarán en marcha a la dirección derecha e izquierda, respectivamente.

3.5.5. Módulo WiFi ESP8266

El módulo WIFI ESP8266 es una placa que tiene integrado el protocolo de comunicación TCP/IP. Este módulo contiene todo lo necesario para conectarse a un punto de acceso WIFI mediante comandos de texto AT. (Ver Figura 36). (Valencia Martínez)



Figura 36 Módulo WiFi ESP8266

Fuente: (Valencia Martínez)

Entre las principales características que presenta este módulo, se encuentran las siguientes:

- Tamaño ultra reducido (11,5mm x 11,5mm)
- Wi-Fi Direct (P2p), Soft Access Point
- TCP/IP integrado
- Fuente de alimentación: 3,3V
- Encendido y transmisión de datos en menos de 2ms

3.5.6. Sensor IMU MPU6050

El MPU-6050 es un sensor de movimiento que posee un acelerómetro y un giroscopio en los 3 ejes (x, y, z), con alta precisión. Utiliza protocolos de comunicación como I2C o SPI que dan valores que requieren un conocimiento y desarrollo matemático muy importante.

EL giroscopio programable tiene un rango de escala completa de ± 250 , ± 500 , ± 1000 , $\pm 2000^\circ/\text{g}$ y un acelerómetro programable con un rango de ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g y ± 16 g. (Arduino, 2016). (Ver Figura 37).

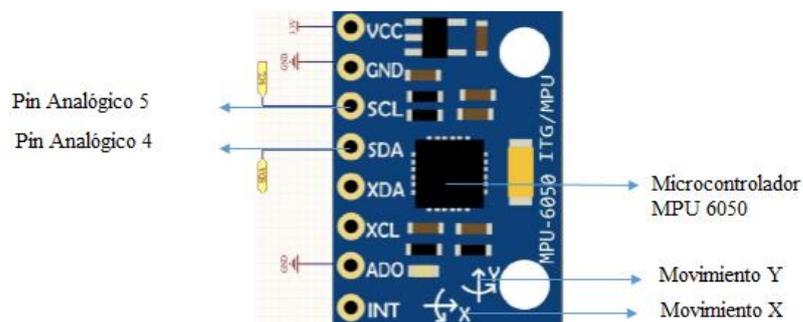


Figura 37 MPU6050

Fuente: (Arduino, 2016)

3.5.7. Arduino NANO

La tarjeta Arduino Nano es una placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) o ATmega168 (Arduino Nano 2.x). Tiene una funcionalidad similar a la tarjeta Arduino Duemilanove, pero en un paquete diferente. (Ver Figura 38). (Arduino, 2016). La tarjeta Arduino Nano presenta las siguientes especificaciones:

- Tensión de Funcionamiento: 5V
- Voltaje de entrada: 7-12 V
- E/S digitales: 14 (6 proporcionan salida PWM)
- Entradas analógicas: 8
- Corriente de trabajo: 40mA

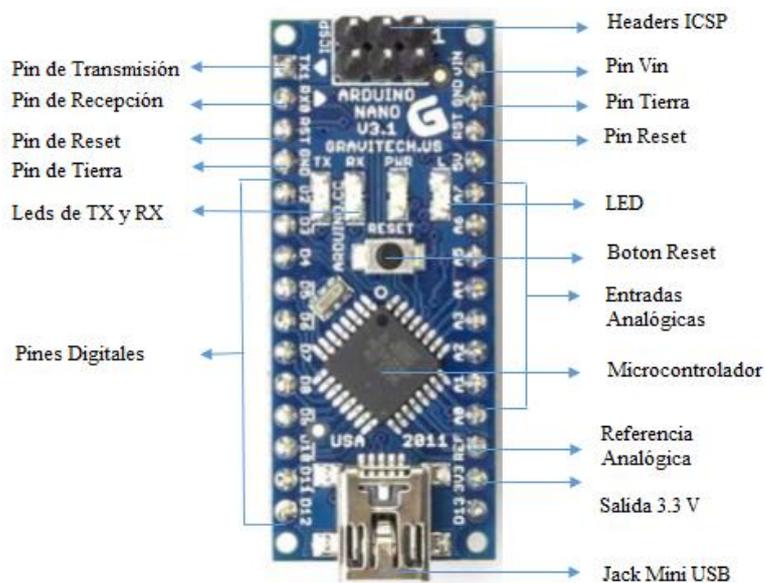


Figura 38 Arduino NANO

Fuente: (Arduino, 2016)

3.5.8. Servomotores

Un servomotor es un motor eléctrico que consta con la capacidad de ser controlado, tanto en velocidad como en posición. Puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada, donde el servomotor mantiene la posición angular del engrane al mantener la señal codificada en la línea de entrada. (Chang, 2016)

Entre las características que presentan los servomotores para su funcionalidad son las siguientes:

- Voltaje de operación: 4,8 V a 6 V
- Velocidad de operación: 0.1 s/60° (4,8 V), 0.08 s/60° (6 V)
- Torque detenido: 1,8 kgf·cm (4,8 V), 2.2 kgf·cm (6 V)
- Peso ligero: 13,4 g
- Dimensiones compactas: Largo 22,5 mm, ancho 12 mm, altura 35,5 mm aprox. (Ver Figura 39).

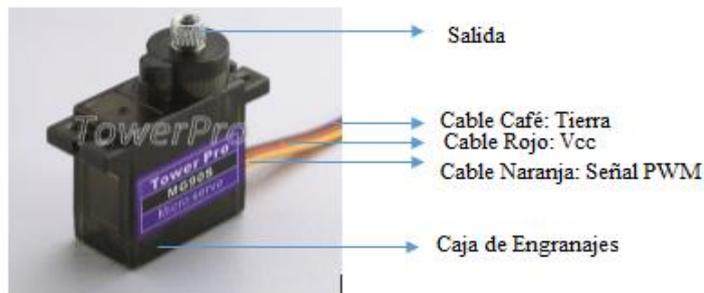


Figura 39 Servomotor MG90S

Fuente: (Chang, 2016)

3.5.9. WebCam

Es una cámara digital conectada a una computadora la cual puede capturar imágenes y transmitir las a través de Internet, ya sea a una página web o a otra u otras computadoras de forma pública o privada. (Ver Figura 40)



Figura 40 WebCam

Fuente: (Superrobótica, 2016)

3.5.10. Cámara PIXY

Es un sensor de imagen con un potente procesador. Esta cámara exporta información por puerto serial UART, SPI, I2C, de tipo digital/analógica (Ver Figura 41). Esta posee una capacidad de procesamiento a 50 fotogramas por segundo. (Philippe, 2016).

La cámara Pixy CMUCam 5 presenta las siguientes características:

- Memoria RAM: 264Kb
- Consumo: 140mA
- Sensor de imagen : 1280x800
- Ángulo de visión: 75 grados horizontal, 47 grados vertical
- Reconocimiento de imagen sencilla: Pulsa el botón y reconoce un objeto
- Altura de la cámara: 25 mm
- Peso (sin cable IDC, sin tornillos): 25,5 g



Figura 41 Cámara PIXY

Fuente: (Philippe, 2016)

3.5.11. Resumen de elementos que compone cada minirobot

En la Tabla 6 se indica cada uno de los elementos eléctricos electrónicos que contiene el robot líder

Tabla 6**Dispositivos del robot líder**

DISPOSITIVOS ROBOT MÓVIL LÍDER		
Tipo de Dispositivo	Descripción	Cantidad
Estructura	Material	1
	Policarbonato	
	Caucho – Cintas Oruga	
	Soportes:	3
	-Cámara Webcam	
	-Seguimiento Color	
	- Para ultrasónicos	
Motores	Motores DC sin encoders	2
Sensores	Ultrasónicos	3
Tarjeta de Control	Raspberry PI 3	1
	Microcontrolador XMEGA 128 A4U	1
Cámara Inalámbrica	Webcam 5Mpx	1
Actuadores	Microservos MG90S	1
	Microservos GS-9018	1

Continua



	Power JACK DC	1	
	Diodos Rectificadores	1	
	Diodos LEDS	5	
	Puentes H L293D	2	
	Regulador de Voltaje LM317	1	
	Convertor DC-DC Mini	1	
Elementos para la carga de batería	Transistor BC-547	1	
	Diodos Rectificadores	2	
	Resistencia 2k Ohmios	1	
	Resistencia 470 Ohmios	1	
	Resistencia 680 Ohmios	2	
	Resistencia 240 Ohmios	1	
	Resistencia 1.2k Ohmios	1	
	Resistencia 1k Ohmios	2	
	Potenciómetro 1k Ohmios	1	
	C.I. 74HC595 Flip Flop	1	
	Fuente de Energía	Pilas Recargables AA	6
		1.5 V	
	Varios	Cables de Arduino conexión	15

A continuación se procede a mostrar los elementos que componen cada minirobot seguidor. (Ver tabla 7)

Tabla 7

Dispositivos robot móvil seguidor

DISPOSITIVOS ROBOT MÓVIL SEGUIDOR 1-2		
Tipo de Dispositivo	Descripción	Cantidad
Estructura	Material	
	Policarbonato	1
	Caucho – Cintas Oruga	
	Soportes:	2
	-Cámara PIXY -Seguimiento Color	
	Material :	
	-Acrílico 3mm	
Motores	Motores DC con encoders	2
Sensores	Ultrasónicos	3
	Sensor de temperatura MLX90614	1
	MQ-135	1
Tarjeta de Control	Microcontrolador XMEGA 128 A4U	1
Cámara Inalámbrica	Cámara PIXY	1
Fuente de Energía	Pilas Recargables AA 1.5 V	6
Varios	Cables de Arduino conexión	15

Continua



	Power JACK DC	1
	Diodos Rectificadores	1
	Diodos LEDES	5
	Puentes H L293D	2
	Regulador de Voltaje LM317	1
	Conversor DC-DC Mini	1
	Transistor BC-547	1
Elementos para la carga de batería	Diodos Rectificadores	2
	Resistencia 2k Ohmios	1
	Resistencia 470 Ohmios	1
	Resistencia 680 Ohmios	2
	Resistencia 240 Ohmios	1
	Resistencia 1.2k Ohmios	1
	Resistencia 1k Ohmios	2
	Potenciómetro 1k Ohmios	1
	C.I. 74HC595 Flip Flop	1

3.6. Comunicación

Para la comunicación entre los elementos electrónicos utilizados en el proyecto, se cumple los requerimientos de distancia de comunicación y ancho de banda. Además, debido a la cámara incorporada en el Robot Líder hacia el computador y para señales de control y monitoreo, hacia los robots seguidores, se necesita una comunicación full-dúplex. De igual manera, es necesario el soporte de las tramas de datos entre video y control, para lo cual se ha tomado en cuenta las siguientes características:

- **Frecuencia de trabajo:** Se trabaja en distancias cortas donde no es necesario la regulación de frecuencias.
- **Transmisión de la señal:** Que pueda funcionar en ambientes cerrados, con obstáculos que atenúan la señal y con fuentes de ruido electromagnético.
- **Flexibilidad:** Que se pueda conectar a otros tipos de redes, y que pueda evolucionar en el futuro.
- **Facilidad de conexión:** Debe ser un estándar que implementen el resto de equipos que lleva el robot.

Para cumplir con estas características se ha utilizado el método de comunicación WIFI el mismo que utiliza frecuencias gratuitas y entrega una gran flexibilidad y facilidad de conexión, por lo que su uso resulta lo más eficiente considerando los requerimientos de transmisión de datos del robot. Con la Raspberry Pi 3, se crea una red para el envío de los datos a la PC, donde se va a encontrar una interfaz la cual pueda manejar y controlar el usuario sin inconvenientes.

La Raspberry cuenta con posibilidad de convertirse en Router de red WIFI. Para poder conectar fácilmente cada robot con los módulos ESP- 8266. Toda esta configuración es manejada en el sistema operativo Ubuntu de Linux, con los comandos de Python. La Figura 42 muestra la estructura de la red de comunicación.

3.6.1. Comunicación cliente/servidor

El modelo Cliente/Servidor en las comunicaciones usa el protocolo de conexión TCP. Se llama protocolo TCP/IP a la familia de protocolos que permiten conectarse a la red de internet. Este protocolo representa a las reglas de comunicación que existen para internet, esto se basa en la noción de la dirección IP, esto quiere decir, que brinda una dirección IP a cada equipo de la red para que pueda enrutar los paquetes de datos que se envían. El servidor ofrece servicios a sus usuarios, mientras que el cliente es el que pide el servicio. El servidor recibe las solicitudes correspondientes de parte del cliente, realiza el servicio solicitado y los resultados son devueltos en forma de una respuesta. (Ver Figura 43).

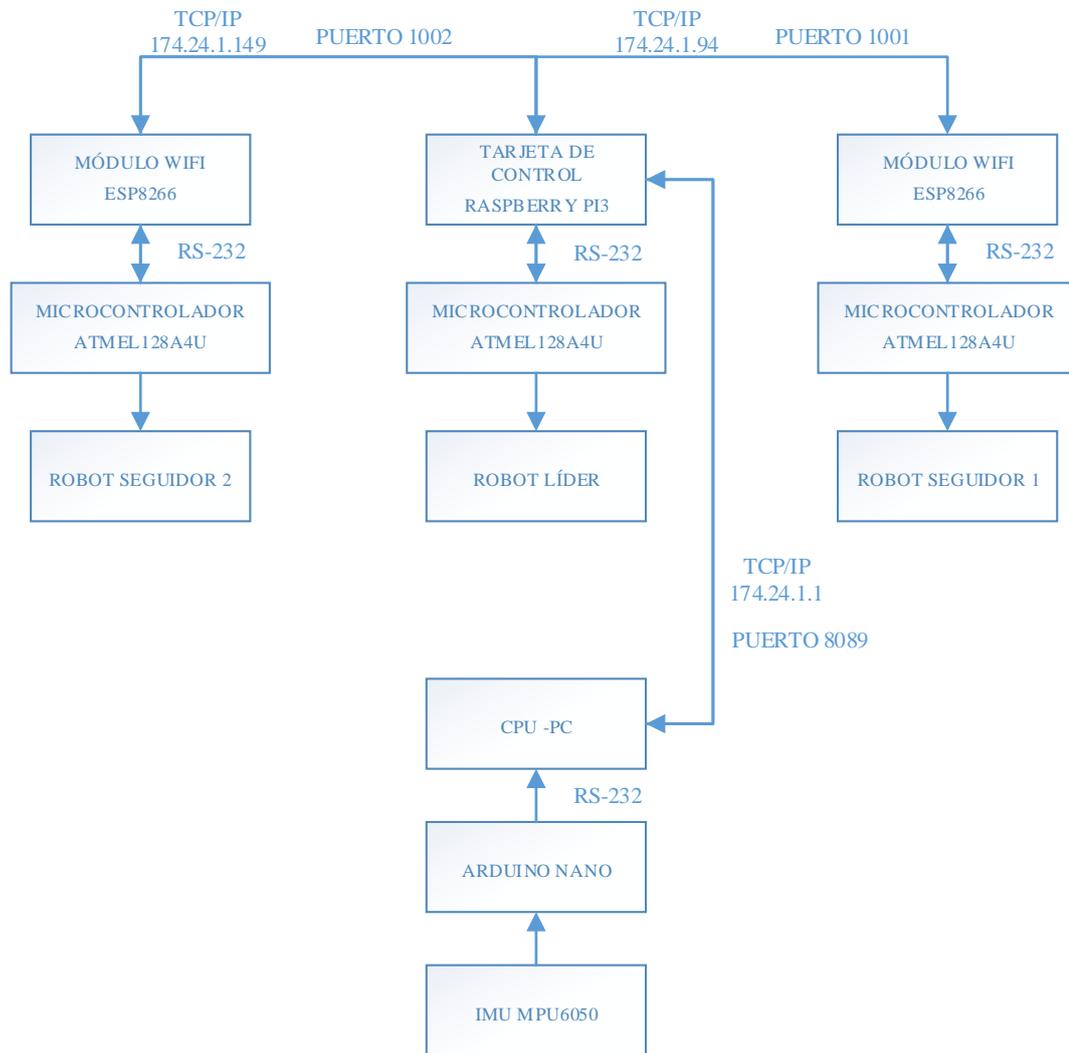


Figura 42 Estructura de la red de comunicación WiFi

Dentro de la comunicación cliente/servidor pueden comunicarse con múltiples clientes al mismo tiempo. (Alba, 2016)

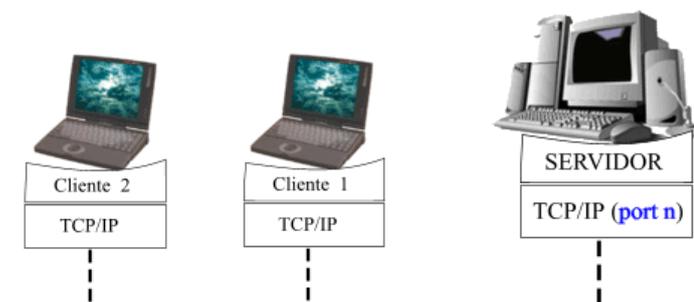


Figura 43 Modelo de aplicación cliente/servidor

Fuente: (Alba, 2016)

3.6.2. Socket

Un socket es utilizado para establecer la comunicación entre diferentes máquinas que están conectadas a una red. Cuando se utiliza los sockets para la comunicación de diferentes procesos se establece la arquitectura cliente/servidor.

Al inicializar el sistema, primeramente entra en funcionamiento el proceso que está encargado de recibir los datos, el cual espera la comunicación del cliente. Luego se pone en marcha el proceso del cliente, el cual consta de un socket que será encargado de enviar datos al servidor el cual espera la conexión. Posteriormente, el cliente realiza una solicitud al servidor; quien a su vez revisa la respuesta para enviar. Por último el cliente recibe la esperada respuesta por parte del servidor.

3.7. Energización del Sistema

El sistema tiene la capacidad de entregar la potencia requerida para desplazar el peso del robot por todo terreno. El mismo ha sido diseñado de tal manera que funcione el tiempo adecuado que dura una situación de emergencia; presentando las siguientes características:

- **Relación espacio/potencia:** Ocupando el menor espacio posible.
- **Relación peso/potencia:** Potencia requerida con el menor peso posible.
- **Eficiencia:** Entregar al menos un 85% de su totalidad del funcionamiento.
- **Duración:** Debe suministrar energía durante 1 hora de uso en promedio.

Se dispuso a tomar las corrientes que ocupan los diferentes elementos del minirobot, teniendo una carga total de consumo que no pase el límite que nos entregan las pilas recargables que es de 4600 mA (Ver Tabla 8). (Ver Tabla 9).

Tabla 8**Corriente total robot líder**

ROBOT LÍDER	
Descripción Componente	Consumo
Motor DC 1 - Motor DC 2	1200 mA
Raspberry Pi 3	700 mA (40W)
Cámara WebCam	1000 mA
Consumo Tarjeta Electrónica	1500 mA
Total Consumo	4400 mA

Tabla 9**Corriente total robots seguidores**

ROBOT SEGUIDOR 1 – ROBOT SEGUIDOR 2	
Descripción Componente	Consumo
2 Motores DC con encoders	1400 mA
3 sensores ultrasónicos	60 mA
MLX90614	100 mA
MQ-135	150 mA
Cámara Pixy	140 mA
Consumo Tarjeta Electrónica	1500 mA
Total Consumo	3350mA

3.8. Conexión y Montaje de la plataforma robótica móvil

En la presente sección se definen los parámetros y características que debe cumplir el robot, basándose en criterios de ingeniería básica y de detalle.

3.8.1. Análisis de requerimientos del diseño

La flota de minirobots serán usados para la exploración de incendios en ambientes controlados donde se debe manejar materiales peligrosos que pueden llegar a ocasionar un conato de incendio. Su principal tarea es la recopilación de información sobre la temperatura del entorno; por lo cual se incorpora los dispositivos sensoriales que le permiten realizar esta tarea. Con la cámara incluida en el robot Líder también se puede detectar víctimas en necesidad de auxilio.

Con las dimensiones y locomoción de los minirobots ya establecidas en secciones anteriores se colocó los minirobots en el ambiente controlado para las primeras pruebas de la implementación. Los minirobots son capaces de sortear obstáculos del terreno tanto en ancho, largo y altura. Se prefiere que el peso del robot se mantenga constante de 2.5 Kg; de tal forma que pueda resistir el peso necesario para ser transportado y manejado con relativa facilidad.

La temperatura promedio que el robot enfrentó en el entorno controlado no fue mayor a 50 ° C (grados centígrados), es decir no tuvo daños la plataforma robótica, en el ámbito de tener temperaturas elevadas a las indicadas. Por tal razón se mantiene una fuente de calor estable con una temperatura normalizada y constante.

Con respecto a la toma de datos sobre la calidad de aire con el dispositivo sensorial indicado, no se tuvo inconvenientes que dañen la estructura o pleno funcionamiento del sistema robótico móvil. Las especificaciones de diseño que deben cumplir los minirobots según lo analizado en los puntos anteriores se muestran en la siguiente tabla. (Ver Tabla 10).

Tabla 10**Especificaciones para el diseño de los minirobots**

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Largo	24,5 cm
Ancho	22,5 cm
Alto	7,5 cm
Altura con Cámara	25 cm
Peso	1,6 libras
Carga Adicional	1,2 libras
Velocidad	20 cm/seg
Pendiente Superable	40°
Distancia de operación mínima en exteriores	5cm
Distancia de operación mínima en interiores	10 cm – 15 cm
Ángulo de visión vertical	75°
Ángulo de visión horizontal	150°
Resolución mínima Cámara PIXY	Sensor de imagen Omnivision OV9715, 1/4", 1280x80
Resolución Cámara Web	5 Mpx
Temperatura ambiente mínima	20°C
Temperatura interna admisible	50°C
Tiempo de funcionamiento mínimo	60 segundos
Costo máximo	450 USD

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

4.1. Introducción

El diseño de los sistemas de control de los robots se realiza en base a la funcionalidad que cada robot va a ejecutar. Gracias a un estudio que se ejecuta, se puede conocer las diferentes características que se va a ocupar de los elementos electrónicos: tales como sensores, actuadores, tarjetas de programación entre otros. Una vez que ya se tiene seleccionado los elementos que se van a utilizar en la funcionalidad de cada robot, se realiza el diseño respectivo el cual se detalla en el presente capítulo.

4.2. Diseño del controlador centralizado

El diseño de control centralizado tiene un comportamiento flexible para este proyecto, en el sentido de poseer un master donde van todo el control y comunicación, depende del control del robot líder para que los robots seguidores sigan en funcionamiento, si el robot líder tiene alguna anomalía los demás robots se detienen esperando su respuesta, este el tipo de control centralizado. A continuación se presenta los diagramas de bloques de los sistemas de control.

4.2.1. Sistema de control robot líder

Para el diseño del control del robot líder en el proyecto se realiza mediante el siguiente lazo abierto el cual está formado por los siguientes bloques:

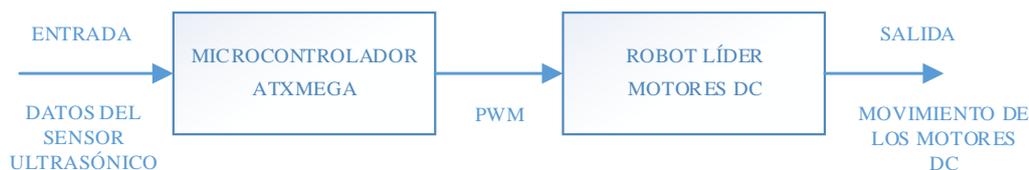


Figura 44 Sistema de control robot líder

El principal control que se realiza es la evasión de obstáculos por lo tanto con los datos de los sensores ultrasónicos podemos procesar y a su vez realizar el debido control para los movimientos del robot para adelante, derecha e izquierda. Todo esto se encuentra en el microcontrolador ATXMEGA, se ocupa un 90% de PWM para el movimiento de los motores.

4.2.2. Sistema de control robot seguidor

El diseño de control para los robots seguidores está estructurado mediante el siguiente lazo abierto que tiene sus respectivos bloques:

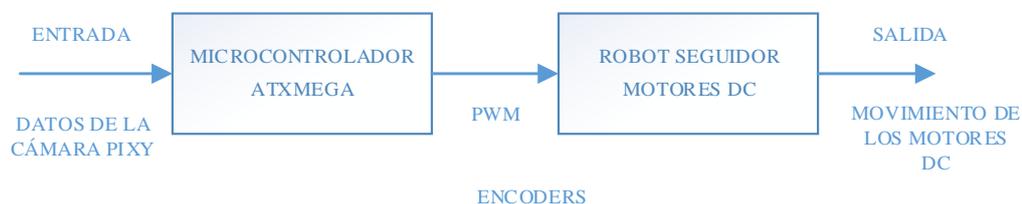


Figura 45 Sistema de control robot seguidor

El control que se realiza para que estos robots funcionen perfectamente es el de seguimiento, el cual gracias a los datos obtenidos con la cámara pixy se puede controlar los movimientos del robot en esta ocasión sus movimientos son para adelante, derecha e izquierda

4.2.3. Placas electrónicas

Luego de las pruebas de los dispositivos sensoriales y demás elementos que se ocupan para el funcionamiento del minirobot, se procedió a realizar la placa con las diferentes etapas que se detallan a continuación:

4.2.3.1. Etapa de rectificación y carga de baterías

Una de las etapas más importantes del diseño de la placa electrónica de cada minirobot es la carga de baterías NiMH (6 baterías recargables 1,5 V /4600 mA). A continuación se explica el funcionamiento del circuito electrónico:

- El circuito se basa en un regulador de voltaje convencional LM317. Las resistencias R2, R3 y VR1 definen la tensión de salida máxima de entre 1,3 y 1.4 V por batería. VR1 debe ajustarse a un valor de 1,35 V por la batería en la salida del regulador. El valor de la resistencia R2 se fijó en 240 Ω .
- El diodo D1 protege el circuito contra inversión de polaridad de la fuente, protegiendo el LM317. La resistencia RCL y transistor Q1 limitan la corriente máxima, en caso de un cortocircuito o la conexión de una batería averiada.
- El LED 2 da una indicación de la tensión de entrada para el cargador, mientras que el LED 1 indica la misma función para la salida del cargador y también proporciona una carga mínima para el regulador cuando la batería está casi completamente cargada. Esto es necesario para mantener la salida del regulador sin dañar las baterías. (Ver Figura 48).

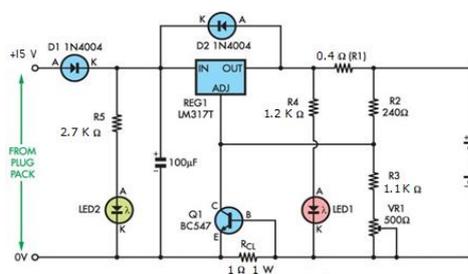


Figura 46 Etapa para cargador de baterías

Fuente: (Morales G. , 2016)

El circuito indica los valores de los elementos para la carga de 6 baterías recargables, su única limitante es el tiempo de carga que se demora en tener las baterías llenas.

4.2.3.2. Etapa de Potencia

- Se utiliza dos circuitos integrados L293D, para los 4 motores que disponen los minirobots. Se ocupan dos motores del frente para evitar consumir mucha corriente; y más aún con las pruebas necesarias se determinó que con 2 motores DC permite al minirobot moverse y girar sin complicaciones y sin dañar las características de la aplicación. (Ver Figura 49).
- El módulo L293D, tiene la conexión para dos motores DC, pero en este caso sistema robótico se utiliza un motor DC en cada módulo L293D; todo ello para evitar sobre carga de corriente en el módulo y la placa electrónica.
- Para funcionamiento de la plataforma robótica, se utilizaron dos de los cuatro motores DC:
 - MDC1: Motor Delantero Derecho
 - MDC3: Motor Delantero Izquierdo

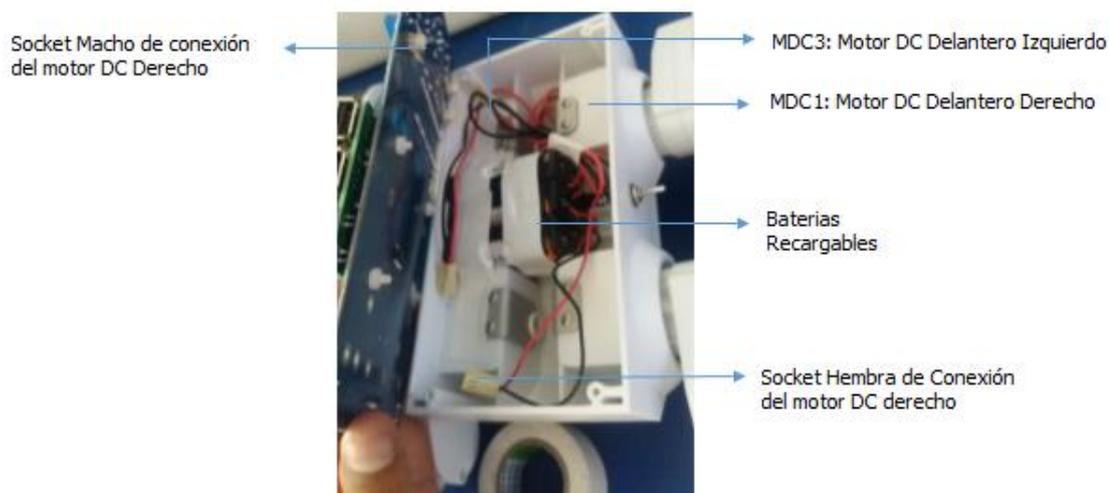


Figura 47 Etapa de potencia para el L293D y motores DC

4.2.3.3 Etapa de control y conexión de encoders

En cada minirobot, la placa electrónica tiene un microcontrolador con todos los puertos para la conexión de los PWM, la transmisión serial, y diferentes pines para enviar y recibir la señal de los sensores. En este sistema se ocupó los encoders de los dos motores DC del frente. (Ver Figura 50).

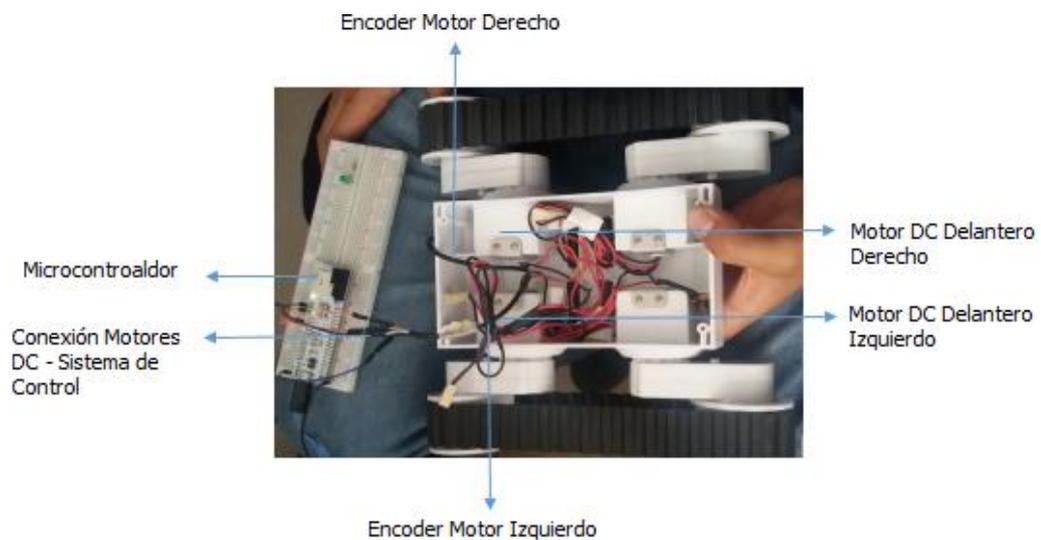


Figura 48 Etapa de control y conexión de encoders

4.2.3.4. Etapa para conexión de microservos

En la placa electrónica se tienen las conexiones para los servomotores que nos sirve para el control de giro y rotación de la cámara incorporada en el robot Líder. Los mismos tienen que moverse por medio de un IMU colocada en la cabeza del usuario. Esta aplicación es para visualizar el entorno controlado en tiempo real. Los movimientos que realiza el usuario con la cabeza son: Arriba, Abajo, Izquierda, Derecha. (Ver Figura 51).



Figura 49 Conexión para los microservos

4.2.3.5. Etapa para conexión de sensores

Dentro de esta etapa se diseñó la conexión de los tres sensores ultrasónicos utilizados para evitar obstáculos, el sensor de temperatura MLX90614, y el sensor MQ-135 para medir porcentajes de CO₂. Los sensores ultrasónicos están localizados en la parte delantera y los costados de los minirobots, y los sensores de temperatura MLX90614 y emisión de gases MQ135 solo se tienen en los dos minirobots seguidores en la parte delantera igualmente. (Ver Figura 52).

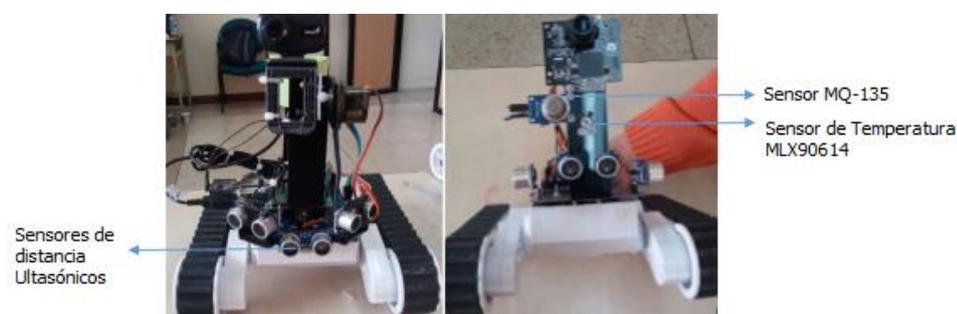


Figura 50 Conexión de los sensores

4.2.3.6. Etapa de comunicación

La comunicación tipo WIFI requiere la configuración de tres placas electrónicas para el funcionamiento del sistema robótico. En el Robot Líder se configura la tarjeta raspberry Pi3 como servidor de la red; mientras que los Robots Seguidores son configurados como clientes para que puedan enviar los paquetes de datos, en este caso los datos enviados por cada robot seguidor son temperatura y CO₂. (Ver Figura 53)

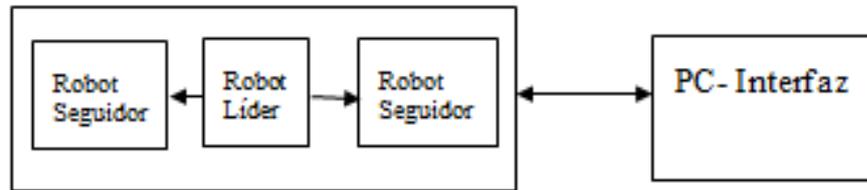


Figura 51 Diagrama de comunicación

4.2.3.7. Diseño placa terminada en ISIS

Al distribuir y juntar todas las etapas y conexiones, en una sola placa con las medidas de la caja del minirobot, se obtuvo el diseño que se puede observar en la siguiente figura. (Ver Figura 54).

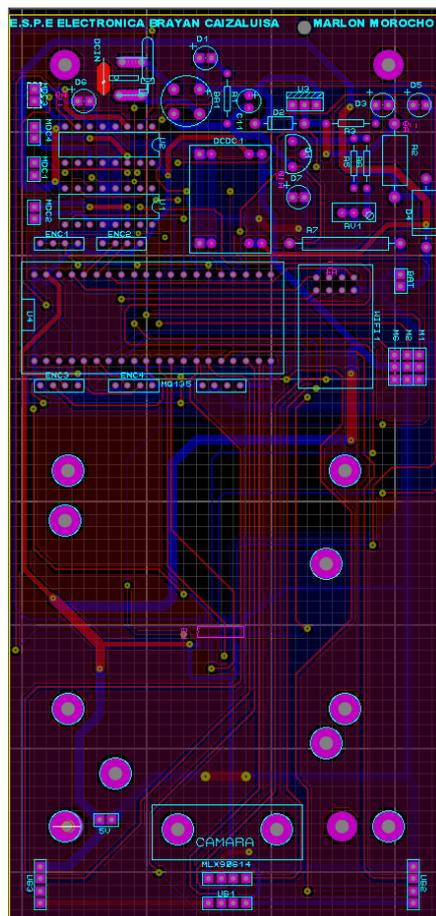


Figura 52 Placa final minirobots ISIS

El diseño realizado evita la generación de cortocircuitos debido a que las pistas diseñadas no tienen ningún conflicto con las conexiones de los diferentes elementos.

4.2.3.8. Diseño placa terminada en ARES

La figura 55 muestra la vista 3D de la placa diseñada en ISIS y permite además la visualización de la parte frontal y posterior de la placa electrónica de cada minirobot.

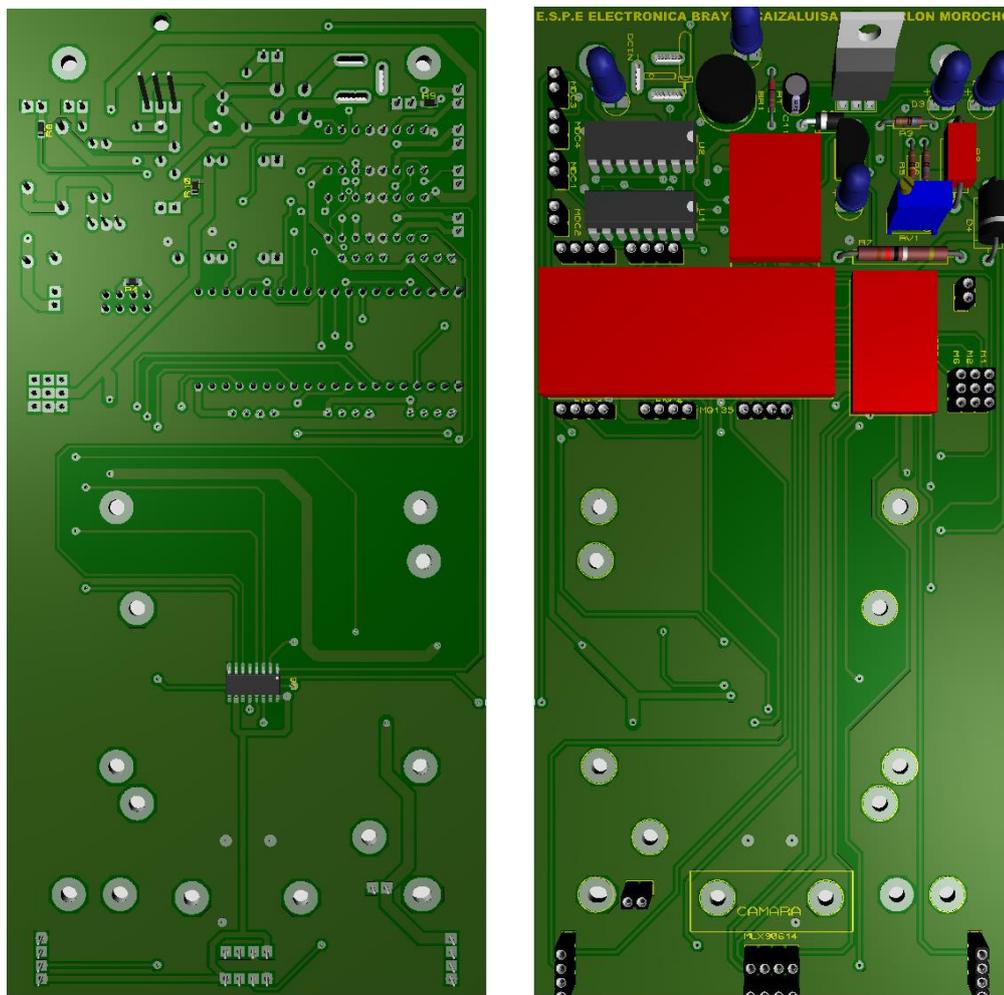


Figura 53 Placa final minirobots ARES

Para el montaje de las placas electrónicas en los diferentes minirobots, se realizó primero una placa de prueba para el control de motores, y se fue verificando su corriente. Después de ello se realizó las placas finales y se procedió a la soldadura de los elementos. En el ANEXO 1 se muestra el diseño de todas las etapas de las placas electrónicas. (Ver ANEXO 1 – PLACAS ELECTRÓNICAS)

4.2.4. Diseño del robot líder

El principal componente del robot líder es la tarjeta Raspberry Pi 3. La misma sirve como Access Point el cual nos va ayudar para la generación de la red para la conexión de los módulos WiFi de los robots seguidores. A su vez, otro componente importante es la cámara webcam, la cual sirve para monitorear el ambiente por el cual va recorrer el robot líder.

La webcam es controlada con dos servomotores los cuales realiza cuatro movimientos: arriba, abajo, izquierda, derecha. Dichos movimientos son controlados por el sensor IMU el cual está conectado al CPU a través del arduino nano el cual transmite datos en modo serial. (Ver Figura 56).

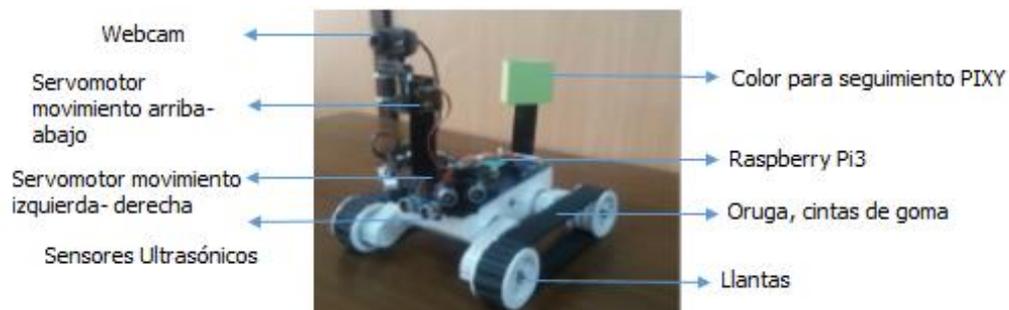


Figura 54 Robot líder

El sensor IMU-MPU6050 está configurado para obtener los movimientos necesarios para controlar los servomotores. Para esta funcionalidad, se ha utilizado los siguientes indicadores:

- 1= DERECHA
- 5= ARRIBA
- 6= ABAJO
- 7= IZQUIERDA

Todo lo explicado se muestra mediante un diagrama de flujo del funcionamiento del robot líder; como se puede visualizar en la Figura 57.

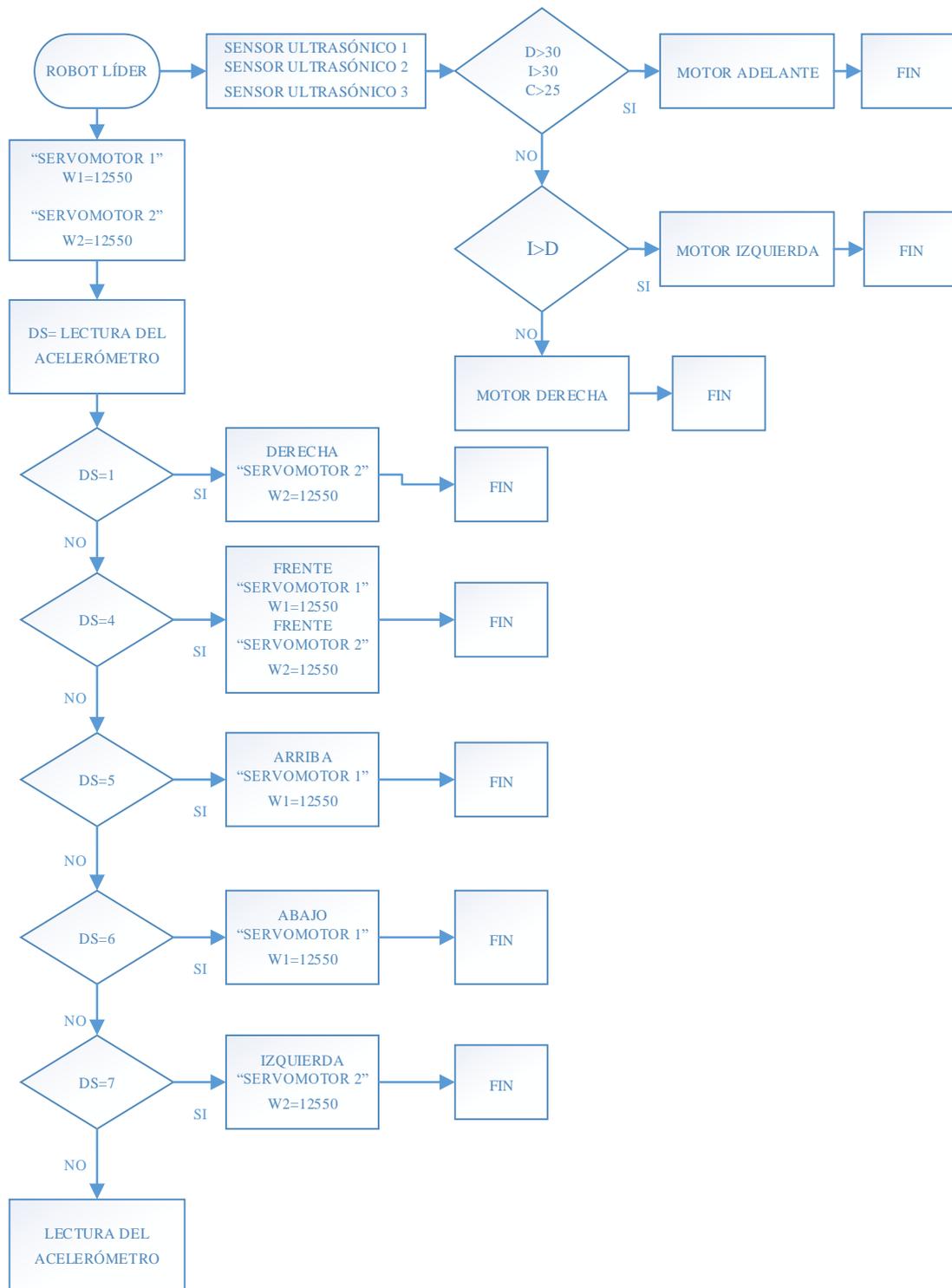


Figura 55 Diagrama de flujo robot líder

4.2.5. Diseño de los robots seguidores

La función que tienen los robots seguidores es la de escoltar a su robot líder hasta llegar a la fuente de fuego; para después tomar datos de temperatura y CO2 en un tiempo establecido. Como se menciona que los robots seguidores escoltan al líder se utilizó la cámara Pixy, ya que gracias a su funcionamiento se puede obtener datos del objeto que se desea seguir; como son la distancia, tamaño, localización, etc. En el proyecto la cámara Pixy toma la imagen del color verde con una distancia de 10 cm. (Ver Figura 58).

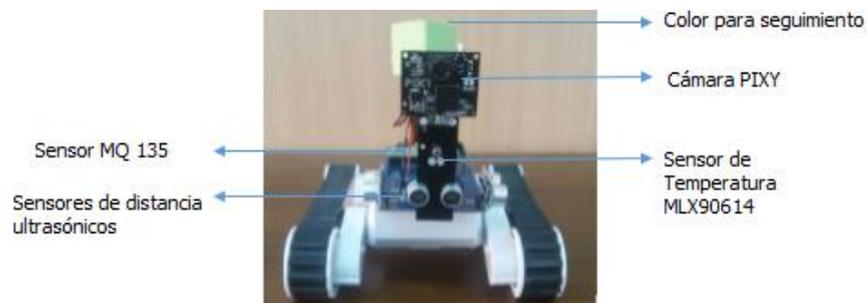


Figura 56 Robot Seguidor

4.2.5.1. Cámara Pixy

La Pixy se ha configurado con una comunicación UART hacia el microcontrolador ATXMEGA en cada robot seguidor. Para la detección del objeto se procede a la toma de foto del mismo en un ambiente que no contenga colores semejantes a los definidos en el objeto a seguir; en este proyecto es el color verde. La configuración UART genera una cadena de código hexadecimal del cual se utilizan ciertos valores de las diferentes medidas del objeto; información con la cual se realiza el respectivo algoritmo de detección.

4.2.5.2. Módulo WiFi

Están en los robots seguidores nos sirven para tener comunicación con el robot líder, y recibir la señal de alarma de incendio para que cada robot seguidor cumpla con su funcionalidad específica. La configuración necesaria por cada módulo es su IP y su puerto designado para enviar y recibir los datos necesarios.

4.2.6. Diseño de la Interfaz

Para el diseño de la interfaz se tomó en cuenta todas las variables del proceso. Se tiene proyectada la imagen que transmite la webcam del robot líder, la cual ayuda al operador a reconocer un incendio. A su vez se tendrá los valores de temperatura proporcionados por cada robot seguidor una vez realizado el acercamiento hacia el incendio. Además se tiene la alarma de detección de incendio la misma que se activa cuando la webcam del robot líder detecta el fuego en una determinada área. (Ver Figura 59).



Figura 57 Interfaz para el usuario

Las pruebas también permitieron testear el entorno generado con la interfaz hacia el usuario, comprobándose que el cumplimiento de las normas GEDIS. Se debe tener en cuenta los diez pasos de la metodología que se menciona a continuación:

- Arquitectura : Título del proyecto , alarmas, visualización, indicadores
- Navegación
- Distribución
- Color : Fondo blanco
- Texto: Arial 12

- Equipos
- Valores: Temperatura y CO2 en tiempo real
- Tablas
- Comandos
- Alarmas: Inicio, incendio, temperaturas altas

Se tiene en el proyecto la arquitectura de diferentes pantallas como es el caso de:

- Pantalla de tendencias y alarmas: Aquí se muestran los valores de las variables más importantes del sistema robótico en el tiempo.

Con la finalidad de llevar a cabo la especificación de la distribución de la pantalla se considera las siguientes directrices:

- Se considera que según el Diagrama de Gutenberg, el movimiento del ojo va de arriba abajo y de izquierda a derecha.
- Se considera que la información más importante debe ir arriba.
- El centro de la pantalla tiene un lugar de alta visibilidad.
- La mejor posición para los gráficos es a la izquierda, ahí se tiene la imagen que muestra en tiempo real la cámara del robot líder.
- Los gráficos de los sinópticos de proceso no debe sobrepasar del 50%, para que no se vean muy aglutinados.

4.2.7. Funcionalidad de los robots

Primeramente, los robots cumplen con sus dimensiones para el trabajo respectivo en un área de 15m². Una vez que los robots están en formación el robot líder; empieza la búsqueda de incendios. Gracias a la cámara web, el operador podrá ir observando diferentes partes del escenario en todas las direcciones: izquierda, derecha, arriba, abajo. El robot líder; tendrá que recorrer espacios donde posiblemente se encontrará con obstáculos, los cuales se evadirán para seguir con su trayectoria original.

Al momento que se ha detectado un incendio, el robot líder se estaciona y manda la señal a sus robots seguidores para que se aproximen al objetivo, “incendio”. El control realizado toma en cuenta que se tiene que evitar daños a la parte electrónica, por lo que robots seguidores tendrán un tiempo de 15 segundos aproximadamente para que puedan tomar medidas de la temperatura y del CO2. Con esta información, el operador puede conocer que tan intenso es el fuego que está siendo analizado, y a su vez este podrá tomar las medidas adecuadas de emergencia. Posteriormente, los robots seguidores regresan a su posición inicial atrás de su robot líder, tras lo cual, el robot líder sigue con su trayecto para poder encontrar otros posibles riesgos. En todo momento el operador puede observar que está pasando en el escenario por el cual se desplaza el sistema robótico. (Ver Figura 59). (Ver Figura 60).

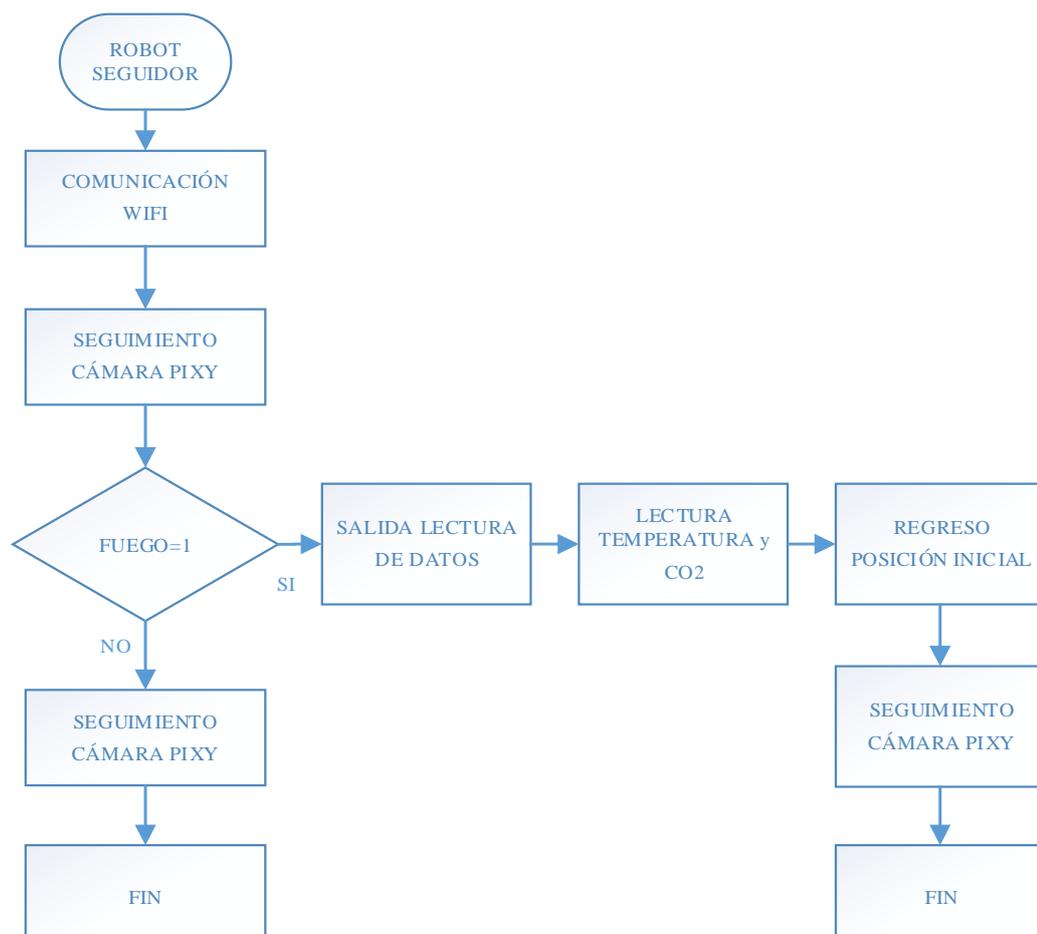


Figura 58 Diagrama de flujo robot seguidor

Luego de establecer el diagrama de flujo de los minirobots seguidores, se puede observar en la Figura 61, el funcionamiento de la toma de valores de temperatura y CO2 de cada minirobot seguidor.



a) Lectura de Temperatura y CO2



b) Regreso a su posición inicial



c) Buscan otra fuente de fuego

Figura 59 Comportamiento minirobots seguidores

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Introducción

Se efectúan pruebas parciales de cada componente y del software utilizado en el sistema robótico desarrollado. Se realizaron pruebas parciales y en conjunto obteniéndose buenos resultados. Una vez realizado el diseño del sistema robótico, se realiza las pruebas del funcionamiento del robot y el análisis de resultados en un ambiente controlado de 15 m², ubicado en los laboratorios de electrónica. (Ver Figura 62)



Figura 60 Ambiente controlado con dimensión de 15 m²

El sistema consta además con una interfaz donde el usuario puede visualizar el recorrido del Robot Líder y los datos de temperatura y CO2 de cada Robot Seguidor. La interfaz, su configuración y funcionamiento, fueron también testeados bajo diferentes escenarios y fue comprobada su utilidad y robustez con la aplicación.

5.2. Pruebas

5.2.1. Conexión Eléctrica

Para empezar se comprobó que los elementos y dispositivos conectados en la placa electrónica de cada robot tengan su respectiva alimentación para su debido funcionamiento y que sus salidas tengan los niveles de voltaje necesarios para que los actuadores (motores), realicen su trabajo correctamente. (Ver Figura 63).



Figura 61 Conexión de motores DC

Además se realizó las respectivas pruebas en los conectores para que los elementos funcionen sin problemas.

5.2.2. Comunicación

Se verificó la comunicación entre el Robot Líder y los Robots Seguidores, asegurándose que los tiempos de respuesta entre los componentes internos de los robots y su usuario sean eficientes en la transmisión de los datos, para así tener el mínimo número de fallas, como desconexión del hardware, pérdida de datos, etc. (Ver Figura 64).

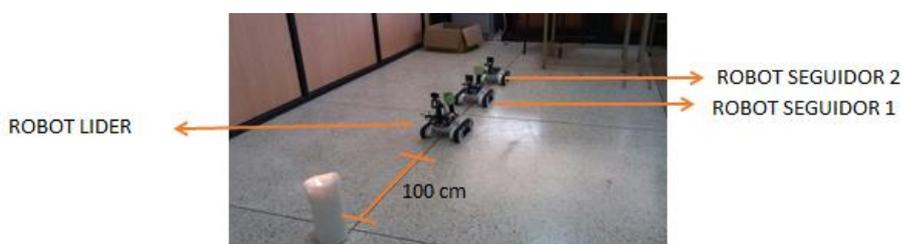


Figura 62 Pruebas alimentación y comunicación

Las pruebas que se realizaron fue la comunicación con los módulos WIFI de cada robot. Estos presentaron problemas al momento de la transmisión de datos, debido a su tiempo de respuesta de sus protocolos TCP/IP. Además estos módulos necesitan un retardo para poder comunicarse con su servidor, por lo que la comunicación mediante WIFI resulta poco confiable para una transmisión rápida de datos.

El mejoramiento para una mejor comunicación inalámbrica se realiza en el sistema operativo Ubuntu, en donde se encuentra toda la estructura de comunicación. Para la cual se insertan los tiempos en los sockets de cliente y servidor, esto es para que sea más rápida la comunicación.

5.2.3. Software de detección de incendios

La Figura 65 permite verificar la cámara web con su respectivo software de detección de incendios. Las pruebas realizadas permitieron verificar los tipos de fuentes con las que el software permite una detección con un correcto funcionamiento.

Es importante saber a qué distancia se va a detectar, y según las pruebas realizadas, se definió como la máxima distancia de detección a aproximadamente a 1 metro. (Ver Figura 64)

También las pruebas que se realizaron para la visión artificial es fundamental ya que para el funcionamiento del Robot Líder debemos tener un patrón de la fuente de fuego, que se realiza en el programa de Python. En este programa se tiene la conversión del modelo de colores RCG al modelo de colores HSV (Ver Figura 65). Este modelo es utilizado para posteriormente generar un nuevo modelo en colores blanco, negro y gris, lo que facilita tener un mejor análisis de las imágenes para ser procesadas.



Figura 63 Software detección de incendios

5.2.4. Evasión de obstáculos

Para las pruebas de navegación se testeó la configuración de la cámara Pixy con los valores a los cuales se va a realizar el control de distancia para el seguimiento al Robot Líder por parte de los Robots Seguidores, obteniéndose un control con el algoritmo aplicado. Otro factor importante es que cada robot consta de sensores ultrasónicos para evitar obstáculos y seguir el camino en modo de navegación randómica. (Ver Figura 66). Los motores de cada robot mediante pruebas de funcionamiento se calibraron a una velocidad para que el control tenga un buen comportamiento y el sistema pueda trabajar con este dato como constante y seteado a un valor que mejora el rendimiento de giros y la navegación en general.



Figura 64 Prueba evitar obstáculos

5.2.5. Lecturas de temperatura y CO2

Para la lectura de temperatura y CO2 es importante que los sensores que se utiliza estén inicializados su sensibilidad, y a su vez con su alimentación respectiva, principalmente para que no existan errores al momento de tomar datos en el objetivo. En la pruebas realizadas, se tomaron tres distancias para obtener los datos y poder analizar los resultados; debido a que al momento de la detección por parte del Robot Líder este da su aviso a los Robots Seguidores los cuales salen de su posición inicial hacia el objetivo y se colocan frente al mismo desde diferentes ángulos (Ver Figura 67); las distancias seleccionadas para realizar las pruebas fueron: 50 cm, 75 cm, 1 m. Se puede decir que entre más cerca este al objetivo los datos tienden a ser más reales, pero hay que tener en cuenta que los robots no pueden tener un acercamiento muy pequeño ya que podrían sufrir daños en su estructura.



Figura 65 Toma de datos robots seguidores

En la Tabla 11, 12 y 13, se muestran los diferentes datos obtenidos a las diferentes distancias por un tiempo de 30 segundos. Existe un cambio considerable entre las medidas; por lo que posteriormente se realizará un análisis de los datos obtenidos.

Tabla 11

Datos obtenidos a una distancia de 50 cm

Tiempo (s)	Temperatura (°C) Minirobot 1	Temperatura (°C) Minirobot 2	Temperatura Real
4	0	0	38
6	0	0	38
8	31,33	30,32	38
10	32,98	31,254	38
12	34,67	33,54	38
14	35	34,67	38
16	36,78	35	38
18	37	36,89	38
20	38	37,87	38
22	38,06	38,23	38
24	38,06	38,23	38
26	38,06	38,23	38
28	38,06	38,23	38
30	38,06	38,23	38

Se debe tener en cuenta la temperatura real que entrega la vela que en este caso tiene una temperatura constante de 38 °C, es para tener una referencia de las temperaturas adquiridas a las diferentes distancias.

Tabla 12**Datos obtenidos a una distancia de 75 cm**

Tiempo (s)	Temperatura (°C) Minirobot 1	Temperatura (°C) Minirobot 2	Temperatura Real
4	0	0	38
6	0	0	38
8	28,07	26,45	38
10	29,98	27,78	38
12	30,11	28,34	38
14	31,78	30,11	38
16	32,23	32,23	38
18	32,39	32,76	38
20	33,89	33,95	38
22	34,56	34,61	38
24	35,14	35,11	38
26	36,11	36,05	38
28	36,18	36,12	38

Tabla 13**Datos obtenidos a una distancia de 100 cm**

Tiempo (S)	Temperatura (°C) Minirobot 1	Temperatura (°C) Minirobot 2	Temperatura Real
4	0	0	38
6	0	0	38
8	23,56	22,78	38
10	24,25	24,11	38
12	25,67	25,78	38
14	27,43	26,54	38
16	27,98	27,28	38
18	28,26	28,19	38
20	28,33	28,45	38
22	28,76	28,96	38
24	28,76	28,96	38
26	28,76	28,96	38
28	28,76	28,96	38

5.2.6. IMU- MPU 6050

Se realizó las pruebas con el sensor de movimiento MPU-6050, con el cual el usuario controla el movimiento de la cámara web en el robot líder (Ver Figura 68). La comunicación que existe entre la cámara web y el sensor es por WIFI. La velocidad de la comunicación y su eficiencia se comprobó tras ejecutar un movimiento con la cabeza del usuario y esperar la respuesta de la cámara, obteniéndose un retardo de 500 milisegundos. Los ángulos de elevación o giro que debe realizar el usuario son los indicados en Tabla 14.



Figura 66 Pruebas sensor MPU-6050

Tabla 14

Movimientos de la cabeza con respecto al MPU-6050

Movimiento	Grados
Derecha	40°
Izquierda	40°
Arriba	45°
Abajo	45°

5.3. Análisis de resultados

Luego de realizar las pruebas respectivas, se procede al análisis de los diferentes datos obtenidos de temperatura y de CO2 en la parte práctica.

5.3.1. Resultados de temperatura

Para motivo de análisis se muestra primero los resultados de las medidas obtenidas con el sensor de temperatura MLX90614 (Ver Tablas 11, 12,13). Los valores obtenidos se recopilan desde el momento que llegan a las diferentes distancias establecidas cerca de la vela encendida. Cuando los robots móviles están haciendo su navegación se detecta el punto de fuego (vela encendida) y el robot líder se detiene este envía la información a los dos minirobots seguidores y estos salen a tomar valores en el sitio del incendio. (Ver Figura 69).



Figura 67 Detección fuego

5.3.1.1. Análisis de temperatura a 50 cm

En la toma de lecturas de temperatura y calidad de aire, para las lecturas a 50 cm se utiliza el siguiente procedimiento. Luego de que los minirobots salen de su posición inicial hacia la fuente de calor se quedan con una distancia de 50 cm de esta. Estos empiezan a tomar valores de temperatura al momento que llegan a la fuente de calor y reciben los datos esperando un tiempo de 30 segundos. (Ver Figura 70).

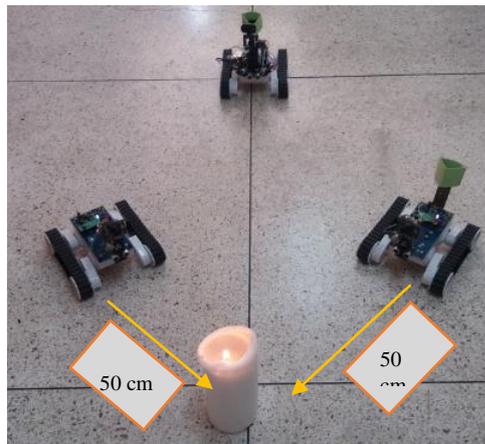


Figura 68 Toma de datos a 50 cm de distancia

El tiempo el cual se estabiliza la medida de temperatura es de 8 segundos. (Ver Figura 71)

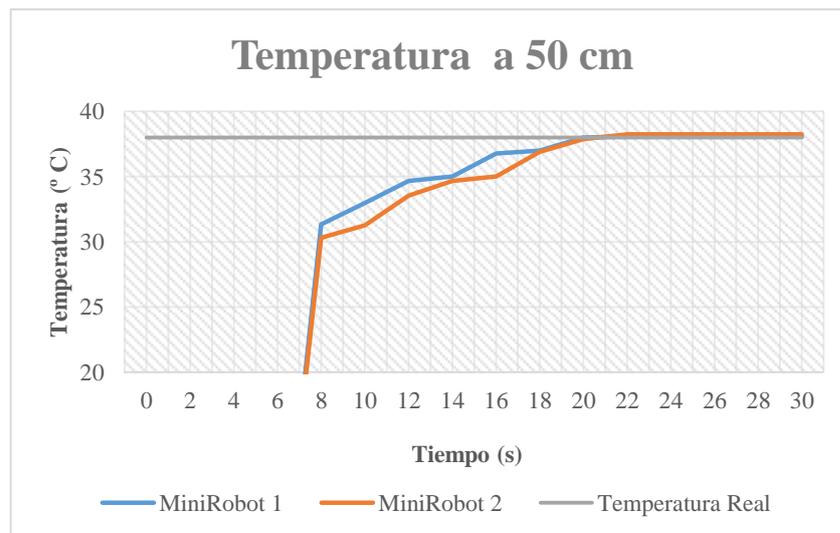


Figura 69 Temperatura tomada a 50 cm de distancia

5.3.1.2. Análisis de temperatura a 75 cm

El mismo procedimiento al proceso anterior se realiza en la toma de datos de temperatura a una distancia de 75 cm. En la posición indicada los robots empiezan a tomar valores de temperatura y reciben los datos esperando un tiempo de 30 segundos. (Ver Figura 72).

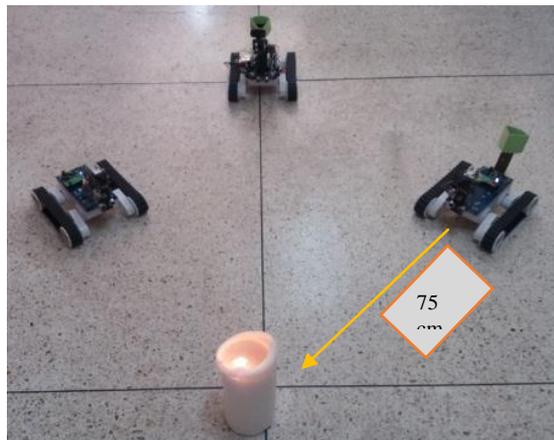


Figura 70 Toma de datos a 75 cm de distancia

El tiempo el cual se estabiliza la medida de temperatura es de 10 segundos. (Ver Figura 73).

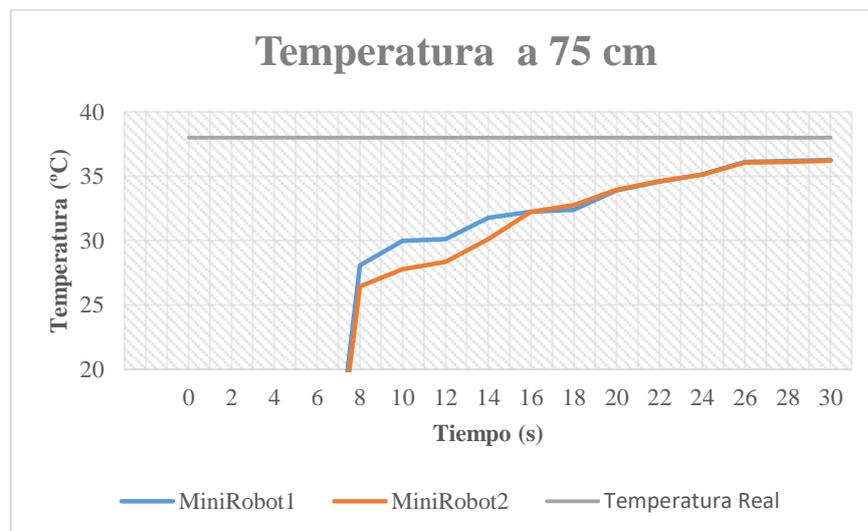


Figura 71 Temperatura tomada a 50 cm de distancia

5.3.1.3. Análisis de temperatura a 100 cm

Para la toma de datos de temperatura a una distancia de 100 cm. Los minirobots salen de su posición inicial hacia la fuente de calor se quedan con una distancia de 100 cm de esta. Estos empiezan a tomar valores de temperatura al momento que llegan a la fuente de calor y reciben los datos esperando un tiempo de 30 segundos. (Ver Figura 74).

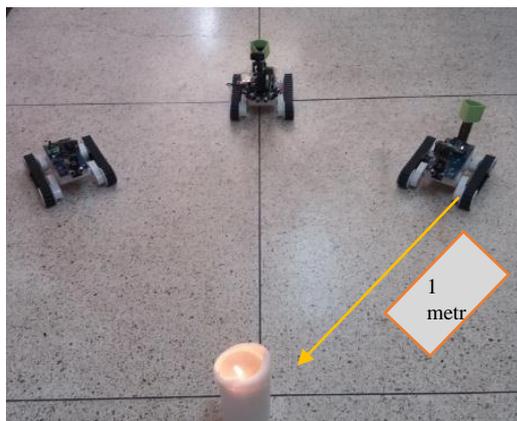


Figura 72 Toma de datos a 75 cm de distancia

El tiempo el cual se estabiliza la medida de temperatura es de 12 segundos.
(Ver Figura 75)

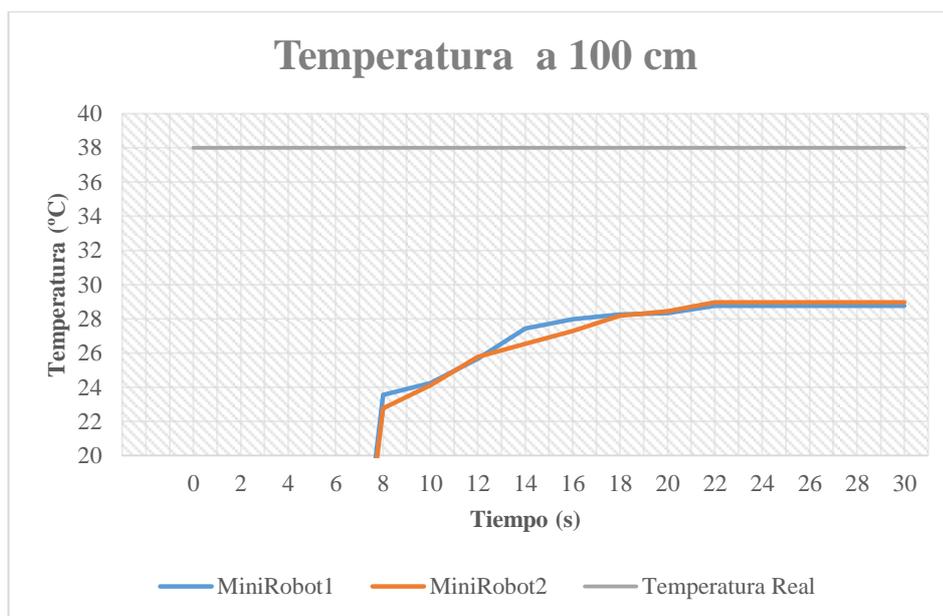


Figura 73 Temperatura tomada a 100 cm de distancia

Como resultado final de todos los análisis que se realizaron, se determina que las medidas a la distancia de 75 cm es la mejor por las siguientes razones:

- Temperatura adquirida (75 cm): 36 ° C.
- Temperatura máxima Material Plástico PC: 135 °C
- Temperatura máxima materiales electrónicos: 50-75 °C

Se define de este modo que al poner el robot seguidor a una distancia más cercana de la establecida, no sufrirá daños debido a su material de construcción, pero si puede sufrir daños o averías en los componentes del sistema electrónico en general. De igual manera si nos alejamos más de la fuente de calor se tomara datos de temperatura más bajos a los reales; lo cual no evidencia el estado real del incendio

5.3.2. Resultados de calidad de aire CO₂

Los valores obtenidos se recopilan desde el momento que cada robot seguidor llega a la distancia establecida en el área de fuego. Cuando los robots móviles están haciendo su navegación ellos detectan el punto de fuego (vela encendida), el robot líder se detiene y envía la información a los dos minirobots seguidores para que salgan a tomar valores.

Los dos minirobots tienen en el microcontrolador una tabla comparativa entre los valores entregados de partículas por minuto (ppm) a porcentaje (%), lo cual se muestra en la interfaz del computador. (Ver Tabla 15).

Tabla 15**Cuadro comparativo para valores adquiridos de CO₂**

Valores ppm	Valor en porcentaje
> 200 ppm < 500 ppm	10 %
> 500 ppm < 750 ppm	15 %
> 750 ppm < 1000 ppm	20 %
> 1000 ppm < 1250 ppm	25 %
> 1250 ppm < 1500 ppm	30 %
> 1500 ppm < 1750 ppm	35 %
> 1750 ppm < 2000 ppm	40 %
> 2000 ppm < 2250 ppm	45 %
> 2250 ppm < 2500 ppm	50 %
> 2500 ppm < 2750 ppm	55 %
> 2750 ppm < 3000 ppm	60 %
> 3000 ppm < 3250 ppm	65 %
> 3250 ppm < 3500 ppm	70 %
> 3500 ppm < 3750 ppm	75 %
> 3750 ppm < 4000 ppm	80 %
> 4000 ppm < 4096 ppm	90 %

5.3.2.1. Análisis calidad de aire a 50 cm

Luego de que los minirobots salen de su posición inicial hacia la fuente de calor, estos se quedan con una distancia de 50 cm de la misma y empiezan a tomar valores por un tiempo de 30 segundos. Se obtiene un valor estándar de 40% de CO₂ o en el rango de > 1750 ppm < 2000 ppm. El tiempo en el cual se estabilizan los valores obtenidos de 5 segundos. (Ver Figura 76)

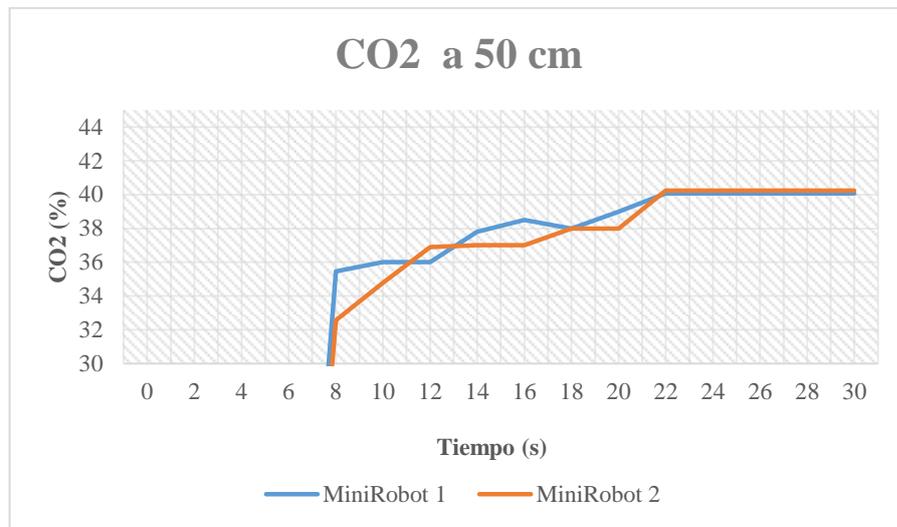


Figura 74 CO2 a 50 cm de distancia

5.3.2.2. Análisis calidad de aire a 75 cm

Luego de que los minirobots salen de su posición inicial hacia la fuente de calor, estos se quedan con una distancia de 75 cm de la misma y empiezan a tomar valores durante un tiempo de 30 segundos. Se obtiene un valor estándar de 25% de CO₂ o en el rango de > 1000 ppm < 1250 ppm. El tiempo en el cual se estabilizan los valores obtenidos de 8 segundos. (Ver Figura 77)

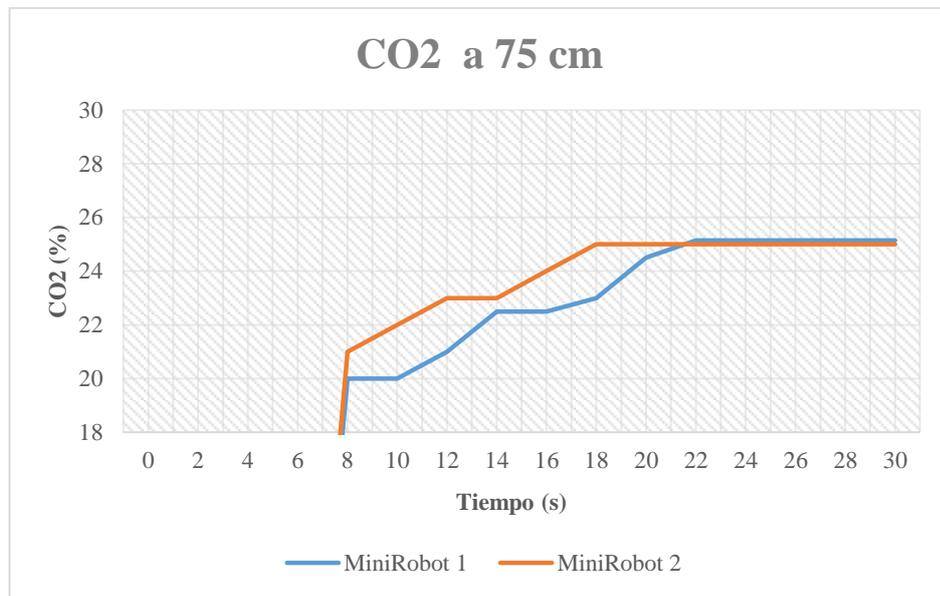


Figura 75 CO2 a 75 cm de distancia

5.3.2.3. Análisis calidad de aire a 100 cm

Luego de que los minirobots salen de su posición inicial hacia la fuente de calor, estos se quedan con una distancia de 100 cm de la misma y empiezan a tomar valores por un tiempo de 30 segundos. Se obtiene un valor estándar de 15% de CO2 o en el rango de $> 500 \text{ ppm} < 750 \text{ ppm}$. El tiempo en el cual se estabilizan los valores obtenidos de 12 segundos. (Ver Figura 78)

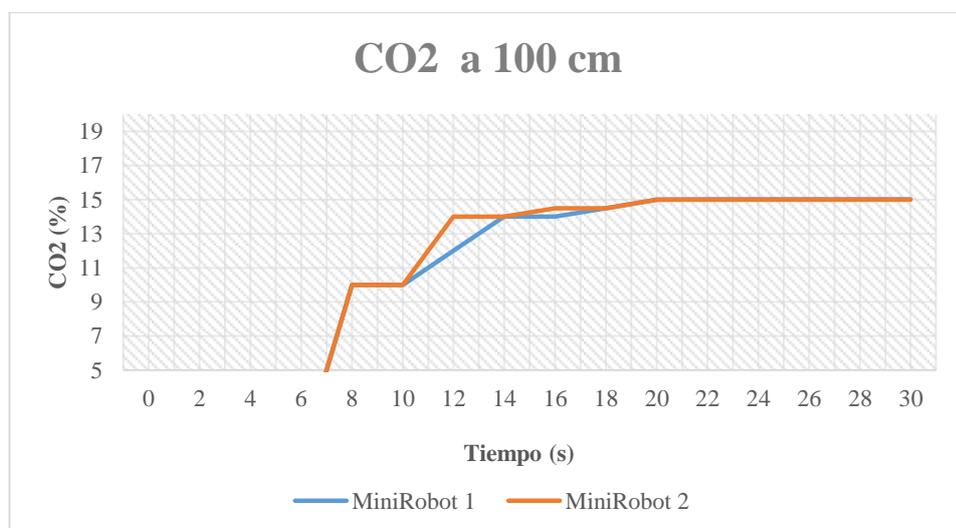


Figura 76 CO2 a 100 cm de distancia

5.3.2.4. Análisis de la energización del sistema

El inconveniente más grande que se tuvo en el trabajo de investigación fue la parte de energización, ya que se utilizó pilas AA alcalinas recargables. Debido a que su tiempo de trabajo es limitado por sus características de corriente, los robots tienen aproximadamente 2 horas de trabajo sin interrupciones. Debido a esto, las pruebas que se realizaron y a su vez el funcionamiento final del trabajo práctico se los debe realizar con mucha precaución porque al momento que las pilas empiezan a descargarse los elementos y dispositivos empiezan a tener un comportamiento erróneo y presentan inconvenientes. Entre las mejoras que se debería tomar en cuenta para un próximo trabajo de investigación es la energización del sistema.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se diseñó en una sola placa la etapa de potencia y control para tener la conexión de todos los elementos de modo directo y evitando cables; teniendo en cuenta las características de cada elemento para no tener daños debido a la mezcla de alta y baja potencia. Se concluye que el diseño es aceptable para el sistema robótico, ya que no existió daño alguno en las placas electrónicas y su funcionamiento es robusto.
- La tarjeta de control Raspberry PI3 permitió tener un mejor punto de conexión WIFI para los seguidores y la PC, al igual que tuvo buenos resultados en el proceso de visión artificial; con el análisis de histogramas, detección de figuras y cálculo de área. La misma utilizó sistema Ubuntu Linux.
- Se logró la interacción del usuario con el entorno mediante la interfaz desarrollada, la misma que utiliza una cámara web en el robot líder y su control de movimiento por medio de un acelerómetro y giroscopio.
- La aplicación pygame permitió desarrollar una interfaz que sea entendible para el usuario al momento de navegar con los minirobots. La misma muestra además las variables sensadas por los minirobots seguidores.
- Para la comunicación entre los robots es necesario tener en cuenta algunas características muy importantes, como es el tiempo que los módulos WIFI necesitan para poder recibir la información que opere en tiempo real; una limitante muy importante al generar un proceso.

- La capacidad de energía que las pilas presentan tienen un límite de uso aproximadamente de 2 horas. Esto depende de los movimientos de los robots y a su vez del consumo de corriente de los diferentes elementos que contienen cada uno.
- Se desarrollaron pruebas con dos y cuatro motores con el objetivo de ocupar la mínima corriente, sin que afecte el movimiento. Se comprobó que dos motores es suficiente para que el minirobot se mueva con un buen rendimiento.
- La cámara Pixy funciona con buena respuesta en el control del seguimiento. Se cubrieron ángulos de giro hasta 90°.
- Para el funcionamiento del sensor MQ-135 es muy importante dejarlo conectado 24 horas antes de su aplicación, para que se restablezca su sensibilidad.
- El microcontrolador XMEGA 128 A4U trabaja en tiempo real y facilita tener una buena comunicación con los sensores implementados en los robots seguidores.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aceves, A. (2012). *"Segmentacion de colores con Matlab" Seminario del proyecto de investigación en Robotica Humanoide*. Quito.
- Acosta Carrasco, A., García Vizcaya, P., & Hernández Hernández , M. T. (2014). Sistema no invasivo de monitoreo de temperatura en una máquina de abrasión seca. *Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica*. México D.F.
- Alba, E. (2016). *Protocolos de Comunicación*. Obtenido de <http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/aplicacion/cliente-servidor.html>
- Álvarez Romero, L. M., & Figueroa Montenegro, J. E. (2011). *Implementación de algoritmos de navegación utilizando la plataforma del Irobot Create y módulos de comunicación inalámbrica XBEE*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejercito.
- Apolo Peñaloza, A. K., & Velasco Barrera, A. A. (2013). Desarrollo de un sistema de robótica cooperativa entre dos elementos robots tipo robonova. *Ingeniería Electrónica*. Sangolquí.
- Arcin, R. (2008). Robots de Servicio. *Revista Iberoamericana de automática e informática*, 2.
- Arduino. (2016). *Imu mpu6050*. Obtenido de <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050#intro>
- Argudo Cobos, G. S., & Arpi Saldaña, A. D. (2012). *Diseño y construcción de un robot móvil teleoperado para la asistencia en operaciones de alto riesgo del cuerpo de bomberos*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Ávila Torres, S. I., & Zambrano Ortiz, E. R. (2007). *Estudio, Diseño y Construcción de un robot cuadrúpedo omnidireccional*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Balich, N. (2004). Aspectos básicos de robots autónomos y lineamientos para la construcción de un equipo de futbol robótico. Universidad Abierta Interamericana.
- Barranco, F., Tomasi, M., Vanegas, M., Granados, S., & Díaz , J. (s.f.). Entorno software para la visualización y configuración de precesamientos de imágenes en tiempo real con plataformas reconfigurables.
- Barrero Arce, A. F., & Robayo Restrepo, M. F. (2015). *Algoritmo de navegación a bordo en ambientes controlados a partir de procesamiento de imágenes*. Bogotá D.C: Colombia.

- Barrientos, A., Peñin, L. F., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). En *Fundamentos de Robótica* (págs. 486,487). Madrid: McGRAW-Hill/Interamericana de España, S.A.U.
- Barroso García, A. (Junio de 2015). Control y monitorización de un invernadero a través de una aplicación móvil. *Máster en Ingeniería Electromecánica*. Madrid.
- Bautista Moreta, L. F. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de teleoperación para un robot móvil mediante reconocimiento de movimientos de la cabeza*. Quito: EPN.
- Beemster, J. (2016). *WIFI-ESP8266*. Obtenido de <http://www.arduinesp.com/getting-started>
- Braunl, T. (2011). *Electrónica y sus componentes*. Google Libros.
- Brooks, R. A. (1986). Un sistema de control de capas robusto para un robot móvil. *IEEE Robótica y Automatización*.
- Cadena Contreras, R. H., & Moreno Bernal, J. F. (2011). Diseño y Construcción de una plataforma robótica cooperativa basada en el sistema embebido primer_2 para la gestión y manejo de inventarios. *Ingeniería Electrónica*. Bucaramanga.
- Canonical. (2016). *Características de Ubuntu*. Obtenido de <http://www.ubuntu.com/>
- Chang, T. (2016). *Servomotores*. Obtenido de <http://www.towerpro.com.tw/product/mg90s-3/>
- Charbonnier, N. (22 de 12 de 2015). *Robótica Aplicada*. Obtenido de <http://www.roboticasimple.com>
- Díaz Iza, H. J. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de teleoperación y evasión de obstáculos en un robot móvil mediante el uso del entorno ROS*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Electronics, L. (2016). *Características de Proteus*. Obtenido de <https://www.labcenter.com/>
- Español, E. L. (2016). *Tres leyes de Robótica*. Obtenido de http://enciclopedia.us.es/index.php/Tres_leyes_de_la_robotica
- Feise-uta. (2016). *Tutorial AVR*. Obtenido de http://www.unrobotica.com/manuales/Tutorial_AVR.pdf
- Fong, T., & Thorpe, C. (2001). Interfaces Vehículos de Teleoperación. *Kluwer Academic Publishers*, 9-18.
- García, E. M. (2005). Planeación y seguimiento de trayectorias de robots móviles en una simulación de un ambiente real. *Ra Ximhai*, 182-183-193-194.

- Germán, A. (2014). *Diseño e Implementación de un sistema Multi-Agente robótico móvil para realizar tareas cooperativas*. Bogotá, D.C: Universidad de San Buenavetura.
- Gómez de Gabriel, J. M., Ollero Baturone, A., & García Cerezo, A. J. (2006). En *Teleoperación y Telerrobótica* (pág. 1). Madrid: Pearson Educación S.A.
- Guerrero Ayala, J. E. (2014). *Diseño de un sistema de teleoperación implementando redes WLAN*. Bogotá D.C: Universidad Militar Nueva Granada.
- Lasantha, B. (2015). *Visión artificial*. Obtenido de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- Matellán, V. (24 de Marzo de 2016). *Robots Terrestres*. Obtenido de <http://www.learobotics.com/personal/juan/conferencias/conf21/>
- Microchip, A. (2016). *Atmel Studio 7*. Obtenido de <http://www.atmel.com/Microsite/atmel-studio/>
- Mimmo, C. (2016). *Librerías OpenCV*. Obtenido de <http://opencv.org>
- Mohan, Y., & Ponnambalam, S. G. (2010). Una extensa revisión de la Investigación en Robótica en enjambres. *La naturaleza y Biológicamente inspirados . Congreso Mundial*. IEEE.
- Molina Villa, M. A., & Rodríguez Vasquéz, E. L. (2014). Flotilla de robots para trabajos en robotica cooperativa. *Programa de Ingeniería en Mecatrónica*. Bogotá.
- Morales, G. (2016). *Electrónica Diagramas Circuitos*. Obtenido de <http://electronica-diagramas-circuitos.blogspot.com/2013/08/cargador-para-baterias-nimh-de-flote.html>
- Morales, L., Pozo, D., Rosero, J., Sandobalin, S., & Rodríguez, M. (2014). Mapeo de Laberintos y Búsqueda de Rutas Cortas Mediante Tres Mini Robots Cooperativos. *Revista Politécnica*.
- Neurotechnology. (2004). *Inteligencia Artificial y Robótica*. Obtenido de <http://www.goit.cl/ia.html>
- Ollero Baturone, A. (2007). ROBÓTICA Manipuladores y robots móviles. En A. OLLERO BATURONE, *ROBÓTICA Manipuladores y robots móviles* (págs. 8,9,10). España: MARCOMBO,EDICIONES TÉCNICAS,2007 MARCOMBO,S.A.
- Philippe, J. (2016). *Pixy Generalidades*. Obtenido de <http://www.cmucam.org/projects/cmucam5/documents>

- Platero, C. (2009). *Introducción a la Visión Artificial*. Obtenido de <http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf>
- Python. (2016). *Generalidades de Python*. Obtenido de <https://www.python.org/>
- Quiñonez, Y. (2010). *Robots que aprenden y se comunican entre sí*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/noticias/Robots-aprenden-comunican-entre/44333>
- Ramirez, H. F., Aviles, O. F., & Hernández, J. C. (2014). Orugas para locomoción de plataformas robóticas. *Segunda Conferencia Internacional sobre mecatrónica avanzada, diseño y procesos de fabricación* (págs. 1,2). Colombia: AMDM 2014.
- Raspberry. (2016). *Tutorial Raspberry Pi3*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.org>
- Refactron. (2016). *Senosr de Temperatura MLX90614*. Obtenido de http://www.refactron.com/index.php?route=product/product&product_id=147
- Riveros Guerrero, A., & Solaque Guzmán, L. E. (30 de 12 de 2013). Formación de robots móviles mediante el uso de controladores. *Ingeniería mecatrónica*.
- Robot, G. (2016). *Características del Dagu-Rover5*. Obtenido de <https://www.robotgear.com.au/Product.aspx/Details/553-Dagu-Rover-5-Tracked-Chassis-with-Encoders-4-Wheel-Drive>
- Rodrigo, L. (2006). *Robot y Trabajo Cooperativo*. Obtenido de <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/LuisDeSantiagoRodrigo.PDF>
- Rodríguez Borja, M. F., & Sandobalín Guaman, S. D. (Septiembre de 2013). Diseño y construcción de tres mini robots exploradores cooperativos. Quito.
- Rodríguez Díaz, E. S., & Vargas Vilatuña, M. G. (2016). *Diseño y construcción de un robot móvil con movimientos controlados inalámbricamente mediante software*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Rouse, M. (Abril de 2015). *Colores RGB*. Obtenido de <http://whatis.techtarget.com/definition/RGB-red-green-and-blue>
- Russell, S. J., & Norving, P. (1996). Inteligencia Artificial: un enfoque moderno. *Inteligencia Artificial: un enfoque moderno*, 38.
- Saha, S. K. (2008). *Introducción a la Robótica*. India: McGraw-Hill Education Private Limited, Noida.
- Sánchez Torrecilla, J. R. (2014). Sistema de monitorización y telegestión remota basado en Arduino para smart buildings. *Ingeniería Sistemas de Telecomunicaciones, Sonido e Imagen*. Gandia.

- Siciliano, B., & Khatib, O. (2008). *Springer handbook of robotics*. Rosing. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Xpgi5gSuBxsC&oi=fnd&pg=PR53&dq=SICILIANO,+Bruno.+KHATIB,+Oussama.+Handbook+of+Robotics.+Springer+-+Verlag+Berlin+Heidelberg.+2008&ots=IUmgW8nb6O&sig=wkShx62ioHUYt_oqWOuzNm4SgLA#v=onepage&q=SICILIANO%2C%20Bruno
- Solaque Guzmán, L. E., Molina Villa, M. A., & Rodríguez Vásquez, E. L. (2014). Seguimiento de Trayectorias con un robot móvil de configuración diferencial. *Ingenierías USBmed*.
- Superrobótica. (2016). *Servomotor gs-9018*. Obtenido de <http://www.superrobotica.com/S330151.htm>
- Tdrobotica. (31 de Marzo de 2016). *Características Rover5*. Obtenido de <http://tdrobotica.co/download/Rover5.pdf>
- TechnicalData. (s.f.). *Sensor de Gas mq-135*. Obtenido de <http://www.vistronica.com/images/Documentos/MQ-135.pdf>
- Tecnalía. (2011). *Robótica Móvil Cooperativa en Ambientes Asistivos*. Obtenido de <http://www.tecnalia.com/es/salud/noticias/robotica-movil-cooperativa.htm>
- Texas, I. (2016). *Datasheet l293d*. Obtenido de <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/L293d.pdf>
- Texas, I. (2016). *Datasheet mlx90614*. Obtenido de <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/218975/ETC2/MLX90614.html>
- Tiago, A. (4 de Enero de 2016). *Placas de Arduino*. Obtenido de <http://www.projetoarduino.com>
- Valencia Martínez, J. L. (s.f.). Diseño y desarrollo de un sistema de medición y monitoreo remoto enfocado al uso doméstico. *Ingeniería Electrónica*. Colombia.
- Vistronica. (2016). *Sensor de control de calidad de aire mq-135*. Obtenido de <http://www.vistronica.com/sensores/sensor-de-control-de-calidad-de-aire-mq-135-detail.html>