

IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT AUTÓMATA DETECTOR DE LLAMA

JUAN PABLO AGUDELO SALINAS

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA SISTEMAS MECATRÓNICOS
MEDELLÍN**

2023

IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT AUTÓMATA DETECTOR DE LLAMA

JUAN PABLO AGUDELO SALINAS

Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Sistemas Mecatrónicos

Asesor Metodológico

Sergio Hernando Ruiz Obando

Magíster en Tecnologías Digitales Aplicadas a la Educación

Asesor Técnico

Carlos Alberto Valencia Hernández

Magíster en Automatización Industrial

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA SISTEMAS MECATRÓNICOS

MEDELLÍN

2023

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Planteamiento del problema	13
1.1 Descripción	13
1.2 Formulación	14
2. Justificación.....	15
3. Objetivos.....	16
3.1 Objetivo general	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
4. Marco teórico.....	17
4.1 Contexto de la robótica aplicada al control de incendios	17
4.1.1 Automatización.....	17
4.1.2 La robótica en la automatización.....	18
4.1.3 Estado del arte.....	20
4.2 Diseño e implementación mecánica	23
4.2.1 Prototipado rápido.....	23
4.2.2 Parámetros de diseño del robot.....	25
4.2.3 Conceptos importantes para el diseño del robot.....	29
4.3 Diseño electrónico	31
4.3.1 Entorno de desarrollo integrado.....	31
4.3.2 Visión artificial.....	39
4.3.4 Dispositivos electrónicos asociados al control de incendios	43
5. Metodología.....	50
5.1 Tipo de proyecto.....	50
5.2 Método.....	50
5.3 Instrumentos de recolección de información.....	51
5.3.1 Fuentes primarias	51
5.3.2 Fuentes secundarias.....	51
6. Resultados.....	52
6.1 Diseño de la estructura mecánica del robot.....	52

6.2 Diseño del sistema eléctrico y electrónico del robot	56
6.3 Implementación de los diseños del robot	60
6.3.1 Ensamblaje de la estructura mecánica.	60
6.3.2 Conexiones eléctricas.....	67
6.4 Algoritmo de control del robot	71
6.5 Pruebas de funcionamiento.....	74
7. Conclusiones.....	77
8. Recomendaciones	79
9. Referencias bibliográficas	80
10. Bibliografía.....	84
11. Anexos.....	85

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Demostración de los brazos robóticos en la fábrica de Flins de Renault	20
Figura 2. Tipos de sistema de locomoción terrestre	25
Figura 3. Configuración de ruedas en los robots móviles.....	26
Figura 4. Sistema de oruga para una aplicación robótica	28
Figura 5. Condiciones para que un cuerpo este en equilibrio	29
Figura 6. El IDE de Arduino.....	33
Figura 7. Aspecto físico y arquitectura interna de los microcontroladores	34
Figura 8. Arduino Mega.....	37
Figura 9. Características del Arduino mega.....	38
Figura 10. Redes neuronales	39
Figura 11. Aspersores contra incendios	42
Figura 12. La robótica emerge en la lucha contra incendios	42
Figura 13. Sensor de llama.....	44
Figura 14. Sensor detector de obstáculos.....	44
Figura 15. Final de carrera eléctrico	45
Figura 16. Sensor ultrasonido	46
Figura 17. Motor DC con su caja reductora.....	47
Figura 18. Estructura del puente H	47
Figura 19. Speed control	48
Figura 20. Motor brushless	49
Figura 21. Estructura modular del robot en software CAD	53
Figura 22. Sistema de locomoción del robot	54
Figura 23. Soportes para módulos de sensores de llama	55
Figura 24. Base para el motor brushless	56
Figura 25. Todas las partes eléctricas que componen el robot	57
Figura 26. Sensores de flama y línea	57
Figura 27. Estructura del sensor final de carrera	58
Figura 28. Estructura de los sensores de ultrasonido.....	58
Figura 29. Configuración del puente H y los motores dc	59

Figura 30. Configuración del speed control para el motor brushless	59
Figura 31. Estructura modular del robot física	60
Figura 32. Corte laser del acrílico.....	61
Figura 33. Arreglo de sensores de flama	62
Figura 34. Ensamblaje de los sensores de llama.....	63
Figura 35. Motor utilizado con sus especificaciones	63
Figura 36 Soportes de motores	64
Figura 37. Anillo interior de la llanta.....	65
Figura 38. Anillo exterior de la llanta.....	65
Figura 39. Rueda libre.....	66
Figura 40. Implementación del sistema de locomoción.....	66
Figura 41. Soportes de sensores.....	67
Figura 42. Cable ribbon y su conector rápido.....	67
Figura 43. Conexiones de headers macho y hembra.....	68
Figura 44. Regulador de voltaje 5v.....	69
Figura 45. Estructura de potencia para el Arduino	69
Figura 46. Arduino con todas sus conexiones	70
Figura 47. Primera prueba de energizado luego del cableado	70
Figura 48. Librerías.....	71
Figura 49. Ejemplo de definición de pines	71
Figura 50. Ejemplo de declaración de pines	72
Figura 51. Ejemplo de función para ir hacia adelante	72
Figura 52. Ejemplos de las funciones para la detección de obstáculos	73
Figura 53. Ejemplo de la parte de la función flama()	73
Figura 54. Funciones en el void loop ()	74
Figura 55. Campo de pruebas para apagar las llamas.....	75
Figura 56. Evidencias del desempeño del robot	76

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Ventajas y desventajas de la automatización	19
Tabla 2. Herramientas que contienen los IDE	32
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los microcontroladores	36

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A. Fire Figting Challenge.....	85
Anexo B. Software de la cortadora laser K40 Whisperer	86
Anexo C. Código completo para el control del robot	87

Resumen

IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT AUTÓMATA DETECTOR DE LLAMA

JUAN PABLO AGUDELO SALINAS

Este proyecto consiste en el desarrollo de un robot detector de llamas para ayudar en la lucha contra los incendios domésticos e industriales, un accidente que involucre fuego es un problema que se puede salir de control en cuestión de minutos, por lo que encontrar una manera rápida de prevenirlo y actuar frente a él antes de que pase a un punto incontrolable, es fundamental para la protección de vidas humanas y bienes materiales.

El robot funciona mediante estímulos generados por un conjunto de sensores que todo el tiempo están enviando información del entorno en el que se encuentra, además de la detección del fuego, el robot también es capaz de desplazarse hacia la fuente de la llama de manera automática, esquivando cualquier obstáculo que pueda surgir en el camino y activando su sistema de aire propulsado para extinguir las llamas de fuego.

Para el desarrollo de este proyecto se llevó a cabo una metodología inductiva aplicada a partir de un conjunto de pasos consistentes en el diseño mecánico estructural, diseño eléctrico y electrónico, desarrollo del código de control, implementación y pruebas de funcionamiento.

El robot obtenido usando técnicas de prototipado rápido funciona en un ambiente interior controlado, en el cual se pudo evidenciar que mediante rondas al área designada, es capaz de detectar, encontrar y extinguir las llamas de fuego, a pesar de que estas estuvieran rodeadas de obstáculos cumpliendo con el objetivo para el cual fue diseñado.

Palabras claves: robot automático, Arduino, detector de llama, robótica

Abstract

IMPLEMENTATION OF ROBOT AUTOMATA FLAME DETECTOR

JUAN PABLO AGUDELO SALINAS

This project consists of the development of a flame detector robot to help in the fight against domestic and industrial fires, an accident that involves fire is a problem that can get out of control in a matter of minutes, so finding a quick way Preventing it and acting against it before it reaches an uncontrollable point is essential for the protection of human lives and material goods.

The robot works through stimuli generated by a set of sensors that are sending information about the environment in which it is located all the time, in addition to detecting fire, the robot is also capable of moving towards the source of the flame automatically, avoiding any obstacle that may arise in the way and activating its propelled air system to extinguish the flames of fire.

For the development of this project, an inductive methodology was applied based on a set of steps consisting of mechanical structural design, electrical and electronic design, development of the control code, implementation and functional tests.

The robot obtained using rapid prototyping techniques works in a controlled indoor environment, in which it was possible to demonstrate that through rounds to the designated area, it is capable of detecting, finding and extinguishing the flames of fire, despite the fact that they are surrounded by obstacles. fulfilling the objective for which it was designed.

Keywords: automatic robot, Arduino, flame detector, robotics

Glosario

Actuadores: dispositivos capaces de transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

Arduino: placa electrónica que trae el microcontrolador Atmega con capacidad de controlar salidas y entradas análogo-digitales siguiendo una secuencia previamente programada.

Autonomía: capacidad de un artefacto de valerse por sí mismo ante una situación incontrolada.

Fuego: proceso de combustión que implica la generación de llamas.

Robótica: rama de la ciencia encargada de diseñar artefactos capaces de replicar las capacidades humanas ante el entorno.

Sensor: dispositivo capaz de convertir magnitudes físicas en magnitudes eléctricas.

Introducción

Tanto en las viviendas como en las empresas pueden producirse accidentes relacionados con el fuego que ponen en riesgo las vidas humanas y causan grandes pérdidas de bienes materiales, por lo que es necesario priorizar la detección temprana de las llamas de fuego, actualmente existen los convencionales sistemas contra incendios, pero con la ayuda de los avances en la robótica hoy en día se pueden mejorar y hacer más eficientes estas protecciones.

A través de este proyecto se busca diseñar un robot que sirva de apoyo para luchar contra las llamas de fuego acabando con ellas antes de que se conviertan en un problema mayor, en primer lugar como un robot de competencia capaz de detectar y extinguir el fuego, pero que puede llevarse a una etapa posterior de aplicación ante eventualidades reales.

El presente trabajo de investigación da muestra de cómo fue llevada a cabo la metodología inductiva aplicada al proyecto desde el momento en que se plantea la idea, indagando en los antecedentes y referentes teóricos acerca del tema y exponiendo el por qué y el cómo se realizan todos los diseños para la construcción del robot.

En cuanto a las principales limitaciones del robot autómatas detector de llama es importante mencionar que solo puede funcionar en espacios interiores, esto debido a que la luz ambiental puede afectar su funcionamiento, además, debido a su configuración de tracción diferencial, no puede ascender o descender por escaleras o pendientes con mucha inclinación.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

En la actualidad el inicio de incendios por errores humanos o simplemente accidentes inesperados, son una problemática que sucede día a día en la cotidianidad, a pesar de mecanismos de control de incendios que por lo general garantizan un tiempo de respuesta bajo, tal es el caso de los organismos especializados en el control de llamas como son los bomberos y las alarmas contra incendios, no existen métodos que detecten la llama antes de que se vuelva algo fuera de control.

El fuego tiene una tendencia a propagarse exponencialmente a medida que pasa el tiempo, por lo cual es más peligroso e incontrolable tras su tardía detección, ocasionando así cada vez más daños. Numerosos desastres han tenido lugar a lo largo de los años causando la destrucción de bosques y demasiadas muertes. Hay muchas formas de lucha contra el fuego, pero ninguna es lo suficientemente buena para asegurar la integridad de las vidas y del planeta tierra (Muñoz, 2009).

Actualmente se cuenta con modernos sistemas hidráulicos conectados a aspersores que pueden detener las llamas en cuestión de minutos, el problema es que además de las grandes industrias, pocas personas se dan el lujo de contar en sus hogares con un sistema de prevención de fuego, debido a su alto costo y exigentes normas de instalación.

A través de la implementación de una clase de robot autómatas que sea capaz tanto de detectar como extinguir la posibilidad de un incendio antes de que pase a mayores, es posible erradicar este problema y así aportar al cuidado de la vida y el ambiente mediante la prevención de la propagación del fuego.

Son muy conocidos los eventos o concursos en los cuales se incita a los jóvenes a construir este tipo de máquinas con el fin de ver quien tiene el mejor diseño para localizar y apagar una

llama en un ambiente controlado, en el menor tiempo posible. Es una gran manera de aportar a la innovación y desarrollo tecnológico.

1.2 Formulación

¿Cómo se debería diseñar y construir un robot autómatas detector de llamas al nivel de los sistemas de control de incendios que existen hoy en este campo?

2. Justificación

Este proyecto es relevante como alternativa a la manera habitual en la que se previenen los incendios, utilizando máquinas autómatas como apoyo en la mitigación de accidentes que involucren el fuego. Gracias a ciertos sensores como los receptores de infrarrojos que son capaces de detectar radiación de una longitud de onda que emita la flama, las cámaras térmicas o la visión artificial, es posible tener una alerta temprana más eficaz para que mediante un sistema diseñado para extinguir la llama como puede ser el aire propulsado, los extintores de CO2 o agua, se puedan realizar las acciones pertinentes para que el accidente no pase a mayores.

Los robots pueden asumir los peligros generados ante la ocurrencia de incendios, preservando la integridad física de los bomberos, introduciéndose en espacios confinados y recabando información para agilizar las labores de consumación (Nomdedeu, 2019). Gracias a la inclusión de la robótica en la prevención de incendios, día tras día se salvan cientos de miles de vidas, bienes materiales y la naturaleza, puesto que la alerta temprana de indicios de fuego puede ayudar a tomar medidas para frenar su expansión.

Mediante el análisis de entornos por procesamiento de imágenes, lo que sería la visión artificial, es posible ampliar las capacidades de los robots para que distingan información visual. Actualmente la visión artificial está creciendo cada vez más en el campo de la robótica por lo que en las nuevas tecnologías se están utilizando en actividades que hace poco tiempo se creía que solo podían hacer los humanos. Un claro ejemplo de esto es la transición que está viviendo el mundo de los coches convencionales a los autómatas que cada vez necesitan menos el factor humano para ser operados.

La eficiencia que tiene un robot automatizado frente a las capacidades de las personas hace que estas nuevas tecnologías ganen cada vez más valor. Aprender a diseñar, fabricar y programar máquinas es una necesidad fundamental para afrontar esta época de transición a la industria 4.0 que está viviendo el país.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar un robot de competencia con capacidades autónomas de detección y extinción de llamas de fuego usando las técnicas de prototipado rápido.

3.2 Objetivos específicos

Diseñar por medio de software CAD la estructura mecánica del robot autómatas de tracción diferencial u omnidireccional, con centro de masa en el medio para mayor estabilidad y motores de alto torque que permitan el desarrollo de un sistema eficiente en un escenario competencia en la detección y extinción de llamas de fuego.

Diseñar por medio de software CAE los circuitos eléctricos y electrónicos necesarios para el control del robot autómatas, utilizando dispositivos que se adapten a las condiciones presentes en un escenario de fuego y conserven su funcionamiento a través del tiempo y el uso.

Implementar el diseño del robot bajo los parámetros establecidos con respecto a la estructura mecánica y el diseño electrónico de control general, usando técnicas de prototipado rápido mediante los equipos y herramientas que permitan el desarrollo físico del robot autómatas capaz de extinguir las llamas de fuego.

Crear mediante un entorno de desarrollo para microcontroladores, el correcto algoritmo de control del robot autómatas capaz de efectuar la detección y extinción de las llamas de fuego.

Efectuar pruebas de funcionamiento en un ambiente de incendio controlado como proceso de validación al cumplimiento de los objetivos de detección y extinción de llamas de fuego por parte del robot autómatas.

4. Marco teórico

4.1 Contexto de la robótica aplicada al control de incendios

Actualmente la robótica se está abriendo campo en las distintas áreas que solo podían llevarse a cabo por los humanos. La posibilidad de darle capacidad a las máquinas como es el caso de la visión artificial que emula la vista, por ejemplo, hace que puedan realizar tareas de manera autónoma por largos y continuos periodos de tiempo, lo que los hace una alternativa incluso más barata y eficiente al disminuir el personal requerido para lograr la misma actividad y aumentar la producción.

La automatización de procesos industriales es un objetivo importante para las empresas en busca de competitividad en un entorno cambiante y agresivo. Implica incorporar tecnología para controlar y mejorar el comportamiento de máquinas y equipos. El automatismo debe ser capaz de reaccionar ante situaciones previstas y no previstas, con el objetivo de mejorar el proceso y ayudar a los recursos humanos involucrados (Moreno, 2001).

La detección a tiempo de una emergencia por fuego puede disminuir los daños que estos puedan causar tanto en bienes como en vidas, por lo que la inclusión de la robótica en esta área puede hacer más eficiente el trabajo de los organismos de socorro. Mediante un robot capaz de efectuar la función de detección y control de las llamas por medio de sus sensores y sistemas equipados, es posible asistir esta problemática para así evitar muertes y grandes pérdidas monetarias en el caso de las empresas e inmuebles de la población en general.

4.1.1 Automatización. La automatización podría describirse como el proceso de introducir sistemas tecnológicos en actividades y labores, con el objetivo de mejorar su eficiencia y disminuir la costosa mano de obra humana. Pueden existir los sistemas completamente autómatas que no necesitarían supervisión humana más que en su mantenimiento y los sistemas semiautómatas, los cuales si necesitan una constante intervención humana. Ambos tipos de sistemas cuentan con la misma finalidad de hacer más sencillas, ágiles y efectivas las tareas para el ser humano.

La automatización de un proceso puede ser muy útil en diversas áreas como la producción masiva de bienes y servicios en el campo industrial, el riego y siembra de cultivos en el campo de la agricultura, el monitoreo de espacios en el campo de la seguridad, entre otros. Existen diferentes maneras de aplicar la automatización y estas pueden variar según el proceso que se requiera, las formas más comunes serían los softwares, sistemas de control, maquinaria especial y los robots.

4.1.2 La robótica en la automatización. Con un enfoque en el tema del proyecto, se puede hablar de lo que es la robótica en la automatización, casi cualquier labor repetitiva que realice un ser humano puede ser reemplazada por una máquina especializada solo en esa función, es esta la razón del por qué cada vez más empresas invierten sus recursos en adquirir este tipo de tecnologías. Las máquinas se desempeñan tan bien en las labores industriales que aumentan la competitividad y hacen que se destaquen sobre las demás compañías que usan métodos tradicionales.

Pero también hay que resaltar que los robots automatizados no solo sirven para hacer las labores del ser humano más fáciles, sino que también pueden desempeñar tareas peligrosas u operar en ambientes extremos por lo cual se estaría protegiendo al individuo de posibles situaciones en las que su integridad física pueda correr riesgo.

Desde la invención de la cinta transportadora a principio del siglo XX, las producciones industriales masivas se hacían mediante miles de trabajadores a lo largo de una cinta transportadora efectuando cada uno la misma tarea una y otra vez. Fue Henry Ford quien instauró las primeras líneas de montaje, al ser el coche el que se movía y no el operario, se eliminó la movilidad de este último cargando con las herramientas cada vez que terminaba una pieza y debía ir a por la siguiente. Este hecho redujo el tiempo de fabricación a solo 93 minutos por coche, revolucionando la industria del automóvil, ya que posteriormente, debido a sus buenos resultados, se estandarizaron en todas las fábricas de automóviles (Grupo OSG, 2021).

Se sabe que, para lograr ese hito de 93 minutos por coche, Henry Ford necesitó de 13000 trabajadores, lo que para una empresa supone cientos de costos hablando de salarios, seguridad,

gastos en salud y aseguradoras. Hoy en día se siguen usando las grandes líneas de montaje, pero con la peculiaridad de que la mano de obra humana cada vez es menos utilizada.

Comparando las ventajas y desventajas de este tipo de tecnologías frente a los métodos tradicionales se tiene:

Tabla 1.

Ventajas y desventajas de la automatización

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Mayor eficiencia: los sistemas automatizados son más rápidos y precisos por lo que aumentan la eficiencia y disminuyen el factor de error.</p> <p>Seguridad laboral: las maquinas pueden efectuar labores peligrosas con el fin de proteger la vida humana.</p> <p>Reducción de costos: al no hacer uso de la mano de obra humana la producción se vuelve más barata.</p> <p>Operación continua: los robots son capaces de operar todo el tiempo incluso sin supervisión.</p>	<p>Gran costo inicial: estas nuevas tecnologías por lo general deben ser construidas a medida e importadas de otros países por lo que su precio es muy elevado.</p> <p>Mayor complejidad: estos sistemas periódicamente necesitan mantenimiento por lo que se debe contratar personal calificado para ello.</p> <p>Problemas de desempleo: como un solo robot puede reemplazar la tarea de varios trabajadores es posible que ocurran problemas con exceso de personal.</p> <p>Desempeño único: las maquina en la mayoría de los casos solo pueden realizar la tarea para la que están diseñadas así que no tienen capacidad de cambiar de proceso como un ser humano.</p>

Fuente: diseño propio

El ejemplo más conocido de la automatización en la industria podrían ser los brazos robóticos que llegaron como reemplazo al método tradicional al poder efectuar la misma tarea por largos periodos de tiempo y además de eso con un factor de error casi nulo.



Figura 1. Demostración de los brazos robóticos en la fábrica de Flins de Renault
 Fuente: extraído de <https://s3.abcstatics.com/abc/www/multimedia/motor/2022/11/17/Photo2-RLrgRDTggayXqGztASliVXK-758x531@abc.jpg>

Los mencionados brazos robóticos podrían catalogarse como sistemas autómatas fijos que solo tienen una secuencia específica para operar en un lugar determinado, también existen los sistemas autómatas móviles que en este campo podrían tener ya sea una secuencia específica como los sistemas fijos o un protocolo de acción ante cualquier situación inesperada.

4.1.3 Estado del arte. A continuación, se presentan algunos trabajos en donde se aprovechan las bondades que ofrece la robótica en el área del control de incendios, los cuales se constituyen una fuente de consulta para la realización de este proyecto en sus diferentes etapas y cuyas experiencias pueden servir como modelo de trabajo.

Diseño y prototipado de un robot explorador que soporte las actividades de los bomberos. Diversos problemas se presentan al enfrentar un incendio en edificaciones o entornos naturales, el peligro que corren los bomberos y la detección del incendio en muchas ocasiones cuando está en estado avanzado son algunas de estas problemáticas. Se presenta el diseño y prototipo de una plataforma robótica (FireBot) cuyo sistema mecánico está basado en la suspensión rocker-bogie utilizada comúnmente en los robots tipo rover, con la diferencia del uso de un sistema de orugas en el mecanismo bogie en lugar de ruedas. Estas orugas se diseñaron con una geometría triangular logrando que la oruga pueda girar completamente cuando el

sistema lo requiera, obteniendo dos modos de rotación controlados mediante un embrague electromagnético. En el primer modo de rotación la correa de la oruga se desliza para generar el desplazamiento lo cual da lugar al movimiento tradicional de la suspensión rocker-bogie, mientras que en el segundo modo todo el sistema de orugas gira como una rueda triangular con el fin de sobrepasar obstáculos de mayor dimensión, ya sean rocas o gradas. La estabilización de la plataforma se consigue mediante el uso de un sistema de ruedas traseras que ayudan a la tracción, cuando el sistema de orugas está girando. Adicionalmente la plataforma posee inclinación del chasis, lo que junto a las otras características permiten que el robot pueda recorrer diferentes terrenos, tanto inclinados como rocosos, y de trasladarse en edificaciones.

La plataforma FireBot cuenta entre sus elementos para detectar y prevenir incendios con tres (3) sensores de temperatura por infrarrojo para identificar zonas calientes, dos (2) cámaras de alta resolución para tener un mayor control de la escena y una tarjeta de desarrollo ODROID-XU3 Lite que es capaz procesar imágenes de vídeo para identificar fuego y alertar al controlador, la transmisión de video y el control manual de la plataforma mediante el uso de una red inalámbrica (WiFi). La identificación de fuego se logra segmentado la imagen con un cambio de espacio de color seguido de la aplicación de operaciones de umbral, morfológicas y sustracción de fondo para reducir los falsos positivos. De esta manera se proporciona argumentos suficientes para la toma de decisiones respecto a los riesgos que se puedan encontrar en la zona en la cual se esté desarrollando (López-prieto, y otros, 2015).

Prototipo de robot móvil mitigador de fuegos incipientes. Los incendios son siniestros que se presentan con regularidad y que atentan contra vidas humanas, el medioambiente y, además, ocasionan pérdidas materiales, sin embargo, en la actualidad la tecnología permite la posibilidad de reducir o prevenir dichos fenómenos. El presente documento describe el diseño y construcción de un prototipo de robot móvil tele operado, mediante conexión inalámbrica, cuyo propósito es identificar y mitigar fuegos incipientes.

La estructura del prototipo es de acero, a excepción de las placas de aluminio utilizadas para la carcasa exterior. El prototipo cuenta con un sistema de locomoción basado en orugas, construido mediante cadenas y pletinas de acero, y accionadas por motores y

pares de engranes, en conjunto con un sistema de suspensión utilizando amortiguadores y ruedas tensoras. El sistema de mitigación compuesto por servomotores cuenta con una boquilla y una bomba de agua que expulsa el líquido que funge como agente extintor. El sistema de visión artificial permite la identificación de fuegos incipientes siguiendo un enfoque de modelo de color basado en reglas. La comunicación inalámbrica mediante radiofrecuencia, utilizando módulos para el control de actuadores, y una cámara, transmisor y receptor para la transmisión de imagen. Los resultados presentan el prototipo de un robot móvil capaz de desplazarse por distintos tipos de superficies, direccionar y accionar un sistema de mitigación, en conjunto con un sistema de visión artificial (López Reveles, Romo Aréchiga, & Quiroz Tovar, 2022).

Prototipo de robot bombero controlado a distancia mediante dispositivo móvil. El crecimiento de la población, del sector industrial, del parque automotor, y el aumento en la demanda de servicios de socorro en el Área Metropolitana, ha causado que los cuerpos de bomberos realicen funciones como ente de apoyo a otros organismos de socorro puesto que la demanda a la que estos están expuestos no puede ser cubierta a totalidad, los bomberos apoyan esta necesidad realizando operaciones como, atender víctimas en accidentes de tránsito, desastres ambientales y climáticos; constantemente se encuentran en alto riesgo de perder la vida debido al tipo de ambientes y actividades a las que están expuestos. Del anterior contexto se puede evidenciar la necesidad de crear un dispositivo que trabaje de la mano y apoye las labores de este cuerpo de socorro, reduciendo el número de personas que se deben encargar de tareas específicas y brindando herramientas adecuadas para preservar la vida e integridad física de los mismos. Como requerimientos iniciales se pretende que el prototipo sea controlado inalámbricamente y que tenga transmisión de video en vivo, esto con el fin de tener un campo visual adecuado para tareas de reconocimiento y en si para verificar el terreno por el que se desplaza el robot. La materialización de este proyecto, consistente en la realización de un prototipo funcional de robot bombero programado sobre una plataforma de software libre, este beneficiará directamente al cuerpo de bombero de Medellín, ejecutando labores de apoyo de forma eficiente y segura. También se pretende cubrir cierto vacío en cuanto a la investigación con prototipos robóticos orientados al trabajo con incendios, esto se puede evidenciar ya que en Área Metropolitana no hay registros de ningún sistema que este operativo actualmente; además

se presentan ciertos retos de diseño desde el punto de vista operativo y técnico (Pérez Carvajal, 2015).

4.2 Diseño e implementación mecánica

4.2.1 Prototipado rápido. La creación de prototipos industriales se puede definir como el primer paso para volver tangibles las ideas y materializar los conceptos del diseño de un producto. El diseño de prototipos está involucrado en la resolución de problemas, eficiencia de producción, viabilidad de materiales, garantía de calidad y funcionalidad. La práctica de validar las ideas mediante la creación de prototipos físicos será un paso crucial dentro del proceso industrial.

Los diseñadores realizarán una transición entre el diseño conceptual, el modelado CAD 3D y la creación de prototipos para validar sus ideas por medio de diferentes técnicas como el prototipado rápido. Esta conversación de ida y vuelta entre el diseño y el prototipo crea un proceso iterativo en el que cada parte revela nuevas oportunidades y problemas que hay que explorar y perfeccionar” (Infinitia Industrial Consulting, 2021).

Para la creación de un producto son muchas las variables que pueden afectar el diseño final lo que supone altos costos para las empresas. Es por esto que los diseñadores e ingenieros optan por desarrollar prototipos rápidos que permitan experimentar acerca de cómo se va a desempeñar el producto evitando así grandes pérdidas monetarias y sirviendo de base para materializar las ideas.

Existen diferentes técnicas de prototipado rápido que van desde un simple boceto hecho en papel y lápiz hasta complejos modelos en software CAD. Algunas de estas técnicas son:

La impresión 3D: esta trata de crear el modelo físico tridimensional a partir del diseño que se tiene en el software CAD, la ventaja con esta es que no hay límite para lo que se puede realizar por lo que se pueden sacar datos como la resistencia a la deformación, dimensiones exactas, fuerza, vida útil, entre otros. La impresión 3D suele ser barata por lo que hablando de costos de producción para una empresa estaría en un punto muy favorable permitiendo diseñar todos los

prototipos que sean necesarios para lanzar un producto seguro, eficiente y rentable al mercado (Diaz Del Castillo, 2018).

Protoboard: una placa de pruebas o protoboard se trata de una tabla, por lo general de plástico, agujereada que internamente está conectada por un material conductor en forma de filas. Su utilidad está en facilitar las conexiones rápidas entre sistemas evitando la acumulación excesiva de cables o puntos de soldadura. Anteriormente para estas prácticas los circuitos eran montados al aire uniendo sus conexiones con soldadura en cada unión o con la técnica de la tabla de madera y clavos para los nodos en los circuitos. El problema con este tipo de montajes es que un error en cualquier punto del circuito era muy difícil de encontrar y para cada componente quemado era necesario desoldarlo y cambiarlo (Airobot, 2023).

Casi siempre las protoboard son usadas en la creación de circuitos de prueba y experimentación para verificar su funcionamiento y desempeño antes de pasar a un circuito impreso, el cual se trata de una placa en el que todas sus conexiones entre componentes están impresas en la placa por lo que no es necesario el uso de ningún cable. Generalmente el diseño y fabricación de una pcb es un proceso largo, demorado, costoso y complejo por lo que no es viable crear diseños que luego no sean eficientes o no funcionen. Los ingenieros y diseñadores crean sus circuitos en las placas de prueba para posteriormente pasar al diseño final de la pcb (Wang, 2021).

Diseño modular. La construcción del prototipo lleva diferentes sistemas que deben funcionar en conjunto para el óptimo desempeño del robot. Es por esto que se plantea la idea de un desarrollo de módulos en los que se pueda priorizar en cada uno diferentes sistemas. El diseño modular de prototipos es una técnica muy utilizada por lo que los ingenieros y diseñadores las utilizan constantemente en sus proyectos, algunos ejemplos serian la construcción de una casa mediante módulos, los vagones modulares de los trenes o la arquitectura de los microchips con sus módulos apartados para las funciones específicas (Montoya, 2019).

Son muchas las ventajas que tiene el diseño modular en cuanto al desarrollo del proyecto, dividirlo en partes específicas hace que las labores de mantenimiento, reparaciones,

actualizaciones y su transporte sea más eficiente.

4.2.2 Parámetros de diseño del robot. Al tratarse el proyecto de una estructura móvil, se deben tener en cuenta factores como qué tipo de sistema de locomoción es más eficiente y de qué forma se deben distribuir las cargas para que no falle en su estabilidad.

Locomoción. Según la RAE la locomoción se trata de un desplazamiento de un lugar a otro, dependiendo el uso y el terreno en el que se va a trabajar, existen diferentes alternativas que se utilizan en las máquinas para su locomoción. “Así, el movimiento siempre significa un cambio de posición en el espacio, la locomoción es el movimiento que permite que el sujeto (ya sea una persona o una máquina) se desplace y, además de adquirir otra posición, cambie de lugar” (Sirpa, 2017).

Algunas de estas alternativas para el diseño terrestre aparecen en la siguiente figura: las ruedas (a), las orugas (b) y las patas (c); cada una de ellas se divide en diferentes configuraciones de modelo en las cuales tienen más o menos ventajas contra los otros. Es necesario un correcto análisis de ellas antes de la elección del sistema de locomoción.

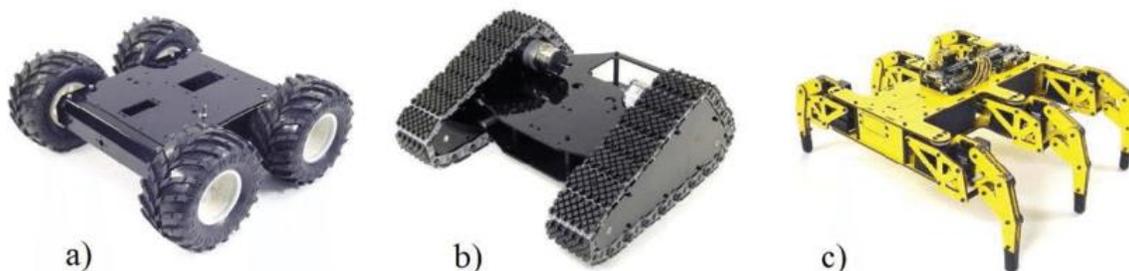


Figura 2. Tipos de sistema de locomoción terrestre

Fuente: extraído de <https://www.researchgate.net/profile/M-Arias-Montiel/publication/309398090/figure/fig3/AS:420787191336974@1477334892875/Figura-54-Robots-moviles-con-diversos-sistemas-de-locomocion-a-ruedas-b-orugas-c.png>

a) Sistemas de ruedas. Los sistemas de locomoción con ruedas son de los más eficientes y utilizados a nivel mundial debido a que estos se comportan muy bien ante casi cualquier terreno, la ventaja que tienen es que existen diferentes tipos de ruedas cada uno diseñados para tener un mejor agarre frente al suelo, cuentan con la capacidad de sobrepasar obstáculos con un tamaño

menor a su radio con facilidad.

Existen diferentes tipos de configuración para el sistema de ruedas. Como se decía antes la elección de este debe ser en base a la necesidad de su uso final (González, 2023).



Figura 3. Configuración de ruedas en los robots móviles

Fuente: extraído de Implementación de un algoritmo de seguimiento de trayectorias (pág. 12)

1) Ackerman. Es el utilizado en vehículos de cuatro ruedas convencionales. De hecho, los vehículos robóticos para exteriores resultan normalmente de la modificación de vehículos convencionales tales como automóviles o incluso vehículos más pesados. El sistema se basa en dos ruedas traseras tractoras que se montan de forma paralela en el chasis principal del vehículo, mientras que las ruedas delanteras son del tipo direccionamiento, y se utilizan para seguir la trayectoria del robot (Sirpa, 2017).

2) Triciclo clásico. Este tipo de modelo no tan utilizado hace uso de una única rueda en la cual se encuentra su tracción y dirección, su ventaja frente a los otros es que es más simple a la hora de hacer diseños en él (Sirpa, 2017).

3) Diferencial. Un robot con tracción diferencial es un vehículo que utiliza un sistema de transmisión de dos ruedas independientes, es decir, cada rueda está unida a su propio motor. En consecuencia, su movimiento (locomoción) se basa en la diferencia de velocidades de las dos ruedas instaladas en un único eje. Además, en la parte trasera o delantera se coloca una rueda libre o castor que gira pasivamente, y sirve para dar estabilidad al robot (roboticoss, 2021).

4) Skid steer. Este tipo de sistema no es muy diferente del diferencial, ya que cuenta con los mismos grados de libertad. Su dirección de giro y avance también depende de la diferencia de velocidad entre los motores de cada lado. Su principal ventaja es que este tipo de sistema maximiza el torque al tener más motores en cada uno de sus lados (Sirpa, 2017).

5) Síncrona. Todas las ruedas (usualmente 3) se mueven en forma síncrona para dar vuelta y avanzar. Para dar vuelta giran las ruedas sobre el eje vertical, por lo que la dirección del chasis se mantiene (Sucar, 2023).

6) Omnidireccional. Este tipo de configuración podría decirse que es el más completo ya que cuenta con 3 grados de libertad lo que le permite desplazarse en cualquier dirección del plano XY. Su ventaja está en que no debe girar para moverse en alguna dirección.

b) Sistemas de orugas. El llamado mecanismo de orugas se basa en un conjunto de eslabones modulares que permiten un movimiento estable en terrenos irregulares y accidentados, gracias a que la fuerza que ejerce el tractor sobre la superficie es mínima. Las barras suelen formar parte de un cinturón blando con un conjunto de eslabones duros unidos entre sí. Las juntas compuestas ayudan a distribuir el peso por la superficie y se mueven sin hundirse (triton, 2022).

Los sistemas de locomoción mediante orugas son los más utilizados en cuanto a trabajo pesado como minería, construcción, agricultura y vehículos de guerra. Estos funcionan mediante una banda por lo general de acero que puede ser impulsada por rodillos o ruedas dentadas. Estas cuentan con una ventaja mucho mayor a las ruedas como sería su fuerza de tracción, durabilidad y comportamiento ante los terrenos irregulares.

Así mismo como desventajas frente a las ruedas tendría su baja velocidad, un gran peso que implica mayor consumo de combustible y un mantenimiento más costoso.

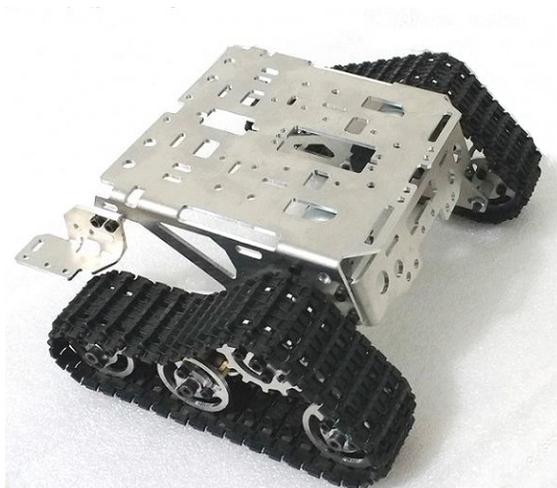


Figura 4. Sistema de oruga para una aplicación robótica

Fuente: extraído de <https://www.didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/Tanque-6-5a.png>

c) **Sistemas de patas.** En este sistema de locomoción se busca replicar las habilidades motoras que podría tener un humano, animal o insecto. Es bien sabido que según la forma y cantidad de patas se puede tener un mejor desempeño en ciertas habilidades como la velocidad en el caso de los leopardos.

Existen robots bípedos, cuadrúpedos y hexápodos.

Robots bípedos. Este es el caso de las máquinas que mediante dos patas buscan imitar la forma en la que se desplaza el ser humano, este sistema se vuelve muy complejo debido a que el movimiento humano se basa en el equilibrio de una sola pierna mientras la otra se desplaza, por lo que su desarrollo se vuelve muy complicado de replicar (Significados, 2023).

Robots cuadrúpedos. Los robots cuadrúpedos tratan de imitar la forma en la que se desplazan la mayoría de especies en la tierra, sobre cuatro patas. Los puntos de apoyo extra corrigen el problema del equilibrio que surge en el anterior problema por lo que se pueden desarrollar con mayor facilidad robots más estables con buen desempeño ante diferentes terrenos complicados (Significados, 2023).

Robots hexápodos. En la búsqueda de mayor estabilidad del sistema surgen los robots de seis patas que en un movimiento coordinado logran tener mejor desempeño que los dos sistemas

anteriores. Su principal desventaja es que no pueden alcanzar velocidades muy altas debido a su peso aumentado por la complejidad de su construcción (Significados, 2023).

4.2.3 Conceptos importantes para el diseño del robot. A continuación, se presentan algunos conceptos que son importantes dominar al momento de realizar el diseño del robot, por medio de los cuales se podrá garantizar que su funcionamiento cumple las leyes del movimiento y de la robótica.

Equilibrio. Para la Física, el equilibrio es el estado de un sistema en el que coexisten simultáneamente dos o más componentes que se contrarrestan recíprocamente, anulándose. Puede presentarse en un cuerpo estático, no sujeto a ningún tipo de modificación, sea de traslación o de rotación; o en un cuerpo en movimiento (Significados, 2023).

Condiciones de equilibrio

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\sum \vec{M} = 0$$

Figura 5. Condiciones para que un cuerpo este en equilibrio

Fuente: extraído de <https://www.ingenierizando.com/wp-content/uploads/2021/11/condiciones-equilibrio.png?ezimgfmt=rs%3Adevice%2Frscb1-1>

Cabe aclarar que cuando se habla de momento, se refiere al torque que pueda tener el sistema, el torque se trata de la fuerza de rotación que se aplica en un punto fijo cualquiera. Se puede decir que un sistema adquiere su condición de equilibrio cuando todas las fuerzas y torques que pueda haber en él se anulen entre sí, o lo que sería que la suma de todas ellas sea igual a cero (Ingenierizando, 2022).

Centro de masa. Es una posición definida en relación con un objeto o a un sistema de objetos, es el promedio de la posición de todas las partes del sistema, ponderadas de acuerdo a sus masas. Para objetos rígidos sencillos con densidad uniforme, el centro de masa se ubica en el

centroide. Por ejemplo, el centro de masa de un disco uniforme estaría en su centro. Algunas veces el centro de masa no está en ningún lado sobre el objeto. El centro de masa de un anillo, por ejemplo, está ubicado en su centro, en donde no hay material (Khan academy, 2017).

Es importante conocer donde está ubicado el centro de masa de un sistema porque este explicara de qué forma se moverá el sistema en el momento que se le aplique una fuerza. Si la fuerza es aplicada en el centro de masa esta tomara la dirección de dicha fuerza sin ningún tipo de rotación. En el caso contrario de que sea aplicada en cualquier otro punto el cuerpo experimentara un movimiento de rotación (Khan academy, 2017).

El equilibrio de un cuerpo puede ser afectado por distintas fuerzas como la gravedad, la fricción, la velocidad de movimiento entre muchas otras. Un centro de masa bien equilibrado debería ser suficiente para que estas fuerzas externas no hagan que el sistema pierda su equilibrio y caiga (Khan academy, 2017).

Materiales. Al ser un vehículo diseñado para entornos donde probablemente haya existencia de llamas es necesario priorizar en materiales con un punto de fusión muy altos para así proteger los circuitos interno y actuadores necesarios para el funcionamiento del sistema. Es importante tener en cuenta el peso del material para evitar problemas de movilidad y estabilidad en el robot.

Para esta aplicación los polímeros quedan descartados pues la mayoría de ellos no cuenta con una buena resistencia térmica, además de eso la combustión de ellos puede desprender gases tóxicos perjudiciales para la salud. Los aceros son un tipo de metal muy resistente y cuando se hacen aleaciones con otros tipos de componentes su punto de fusión aumenta considerablemente, aunque no es el único material con estas capacidades es el más fácil y accesible para encontrar así que es una opción considerable para el desarrollo. La cerámica es otro material también usado en aplicaciones térmicas pues su punto de fusión puede alcanzar máximo desde los 1315°C hasta los 2000°C dependiendo de su tipo. Es altamente usada con fines aislantes y de protección (Aceromafe, 2022).

Software de diseño 3D. Se constituye en una herramienta fundamental para el desarrollo de

esto proyecto, ya que permite el modelamiento, simulación y análisis del modelo del robot antes de su implementación. Específicamente para la implementación del robot autómatas detector de llamas se utilizará el software Solid Works.

SolidWorks. Es un software de tipo CAD (diseño asistido por computadora), que ofrece herramientas para modelado, análisis y simulación de diversos proyectos de mecánica, eléctrica, electrónica y otros. Permite dibujos en 2D y modelado en 3D. SolidWorks es desarrollado actualmente por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows (Deingenierias.com, 2019).

SolidWorks es presentado como un software robusto para el diseño en 3D con el desempeño y la facilidad de uso como sus cualidades principales. Es un software de modelado paramétrico, basado en operaciones y ensamblajes. Paramétrico se refiere a que las formas y las dimensiones pueden ser definidas a partir de fórmulas y que las operaciones se secuencian a través de un árbol de operaciones, lo que permite la edición de operaciones en secuencia, esta característica ayuda bastante a la hora de realizar diseños, simulación, fabricación y producción (MS INGENIERÍA, 2020).

4.3 Diseño electrónico

Para el desarrollo del diseño electrónico se usarán diferentes herramientas de software, dispositivos y equipos, los cuales se presentan en las siguientes líneas.

4.3.1 Entorno de desarrollo integrado. El IDE por sus siglas en inglés (Integrated Development Environment) es un software que incluye en sí mismo diferentes medios y herramientas para que los desarrolladores puedan crear su software en él. “Desarrollar un software requiere múltiples elementos como el código, la interfaz de usuario, la estructura del proyecto, la configuración del entorno, entre muchos otros. Para simplificar este proceso tan complejo, se han creado diferentes herramientas. Entre ellas, se encuentra el IDE, o “Integrated Development Environment” (Datascientest, 2022).

Tabla 2.
Herramientas que contienen los IDE

HERRAMIENTA	DESCRIPCION
Editor de código	Un editor de código es un programa el cual apoya al usuario mediante ayudas como el predictor de código, el resaltador de funciones específicas y pareo de llaves.
Depurador o debugger	El depurador de código es un programa que se utiliza para hallar los errores de escritura en el código. Cabe resaltar que este no corrige lógica si no que resalta errores de ortografía o de estructuración de funciones.
Librerías y ejemplos	Los IDE contienen variedad de ejemplos que son código prescrito para facilitar el trabajo de programadores.
Compilador	El compilador es un programa que traduce el código fuente del usuario al código que la maquina puede entender.

Fuente: diseño propio

Nota: los conceptos fueron consultados de: <https://www.redhat.com/es/topics/middleware/what-is-ide>

Arduino IDE. Como muchas compañías reconocidas, el Arduino también tiene su software de desarrollo para programadores con todas las herramientas anteriormente indicadas y algunas otras más como su monitor serial que utiliza para enviar y recibir datos a través de la conexión del puerto serial en tiempo real. Este IDE cuenta con muchas ventajas frente a otros de su tipo ya que, al ser de acceso libre y gratuito al público, con una interfaz muy amigable, puede ser utilizado como una herramienta de aprendizaje en programación básica, y a su vez para programadores más experimentados es una herramienta que permite hacer algoritmos complejos en su lenguaje C (Carmenate, 2021).

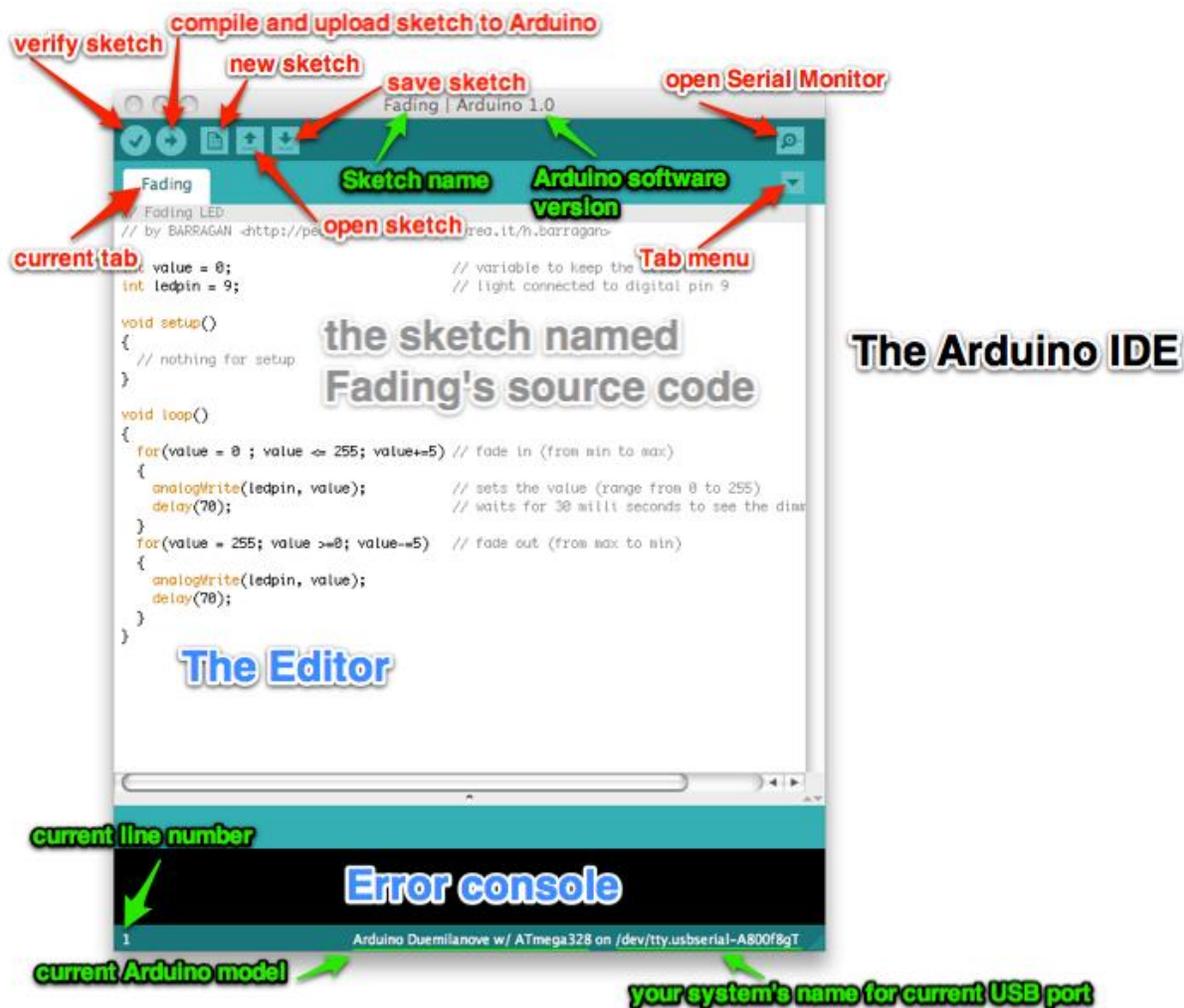


Figura 6. El IDE de Arduino

Fuente: extraído de https://www.arduineando.com/wp-content/uploads/2014/11/the_Arduino_IDE-2.png

Microcontroladores. En este apartado se pretende dar a conocer lo que es un microcontrolador y un microordenador para así entender que opción sería más apropiada a la hora de desarrollar el sistema. Los microcontroladores son pequeños dispositivos electrónicos integrados de diferentes componentes para sus funciones específicas con la característica de que pueden ser programados. Estos son capaces de realizar procesos lógicos mediante operaciones binarias de compuertas como la AND, OR y NOT. Los microcontroladores por lo general tienen la misma estructura de componentes internos: unidad central de procesamiento (CPU), memorias (flash, ram y eeprom) y periféricos (E-Marmolejo, 2017).

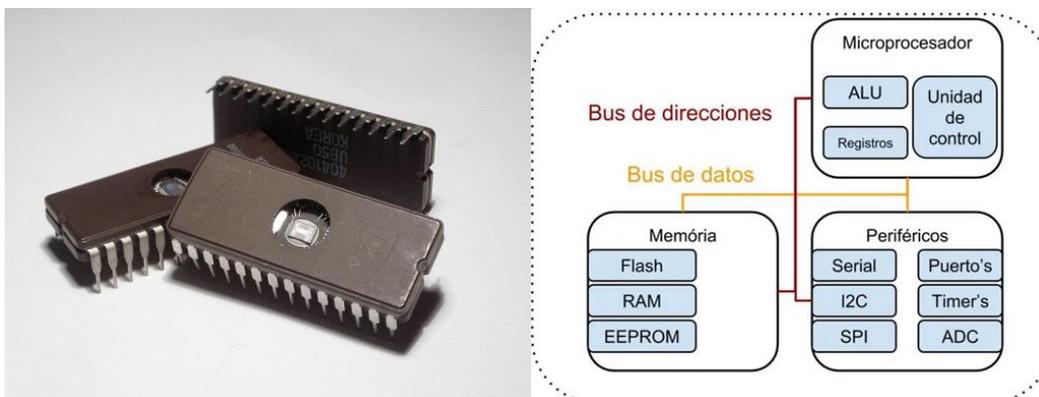


Figura 7. Aspecto físico y arquitectura interna de los microcontroladores

Fuente: extraído de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/wp-content/uploads/2017/11/Microcontrolador-esquema-general-768x576.jpg>

Unidad central de procesamiento (CPU): al igual que un ordenador los microcontroladores también contienen una CPU, la cual está diseñada para consumir menos energía y ocupar un espacio más reducido. Su principal función es encargarse de ejecutar las instrucciones del programa almacenado en la memoria y realizar los cálculos matemáticos. La CPU internamente está compuesta por tres partes importantes: Alu, unidad de control y la unidad de registros (E-Marmolejo, 2017).

ALU (Unidad Aritmética Lógica): es una parte fundamental de todo microcontrolador debido a que es el lugar en que se efectúan las operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación y división) y las operaciones lógicas (and, or, not, entre otras). Este manipula números enteros, flotantes, operaciones booleanas y comparación de valores. Cabe destacar que todos sus datos sobre los cuales realiza las operaciones son tomados de la unidad de registro (E-Marmolejo, 2017).

Unidad de control: esta es la unidad encargada de la lectura y decodificación del código que hay guardado en la memoria. Coordina y controla todas las operaciones que se dan en las distintas partes del microcontrolador (E-Marmolejo, 2017).

Unidad de registros: esta es la encargada de almacenar temporalmente los datos que se están efectuando en la CPU. A diferencia de las demás unidades de memorias esta funciona a la velocidad de la unidad de control debido a que constantemente debe proporcionar datos al ALU

para el correcto funcionamiento de la CPU (E-Marmolejo, 2017).

Memorias: es una parte esencial del microcontrolador ya que se encarga de almacenar los datos de funcionamiento. Además del programa, el microcontrolador también debe guardar datos como los que toma mediante sus puertos o los cálculos lógicos que realiza. Existen tres tipos de memorias cada una con funciones específicas e importantes: memoria flash, memoria RAM y memoria eeprom (E-Marmolejo, 2017).

Memoria Flash: es un apartado de memoria no volátil (que guarda sus datos incluso cuando se es desenergizada), permite la lectura, escritura y reescritura. Por lo general aquí se guarda el algoritmo que debe seguir el programa (E-Marmolejo, 2017).

Memoria RAM: esta es utilizada para guardar los datos temporales que utiliza el microcontrolador. Es del tipo volátil así que una vez se apaga el sistema esta borra todos sus datos allí almacenados (E-Marmolejo, 2017).

Memoria EEPROM: en este tipo de memoria no volátil se almacenan datos de configuración especificados por el usuario, datos de calibración, registros de eventos a lo largo del programa, entre otros. Estos datos son importantes por lo que deben mantenerse una vez se apaga el microcontrolador (E-Marmolejo, 2017).

Periféricos: se trata de dispositivos agregados que permiten al microchip interactuar con el mundo exterior, estos periféricos pueden ser de comunicación en el caso de los puertos seriales o de transformación de una señal eléctrica como los convertidores análogo digital (ADC) o la modulación por ancho de pulso o PWM (E-Marmolejo, 2017).

Tabla 3.
Ventajas y desventajas de los microcontroladores

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Periféricos: estos cuentan con diferentes periféricos integrados en su chip con el fin de darles funciones más variadas.</p> <p>Bajo consumo energético: en promedio la mayoría de microcontroladores funcionan con un voltaje de operación entre 2,5V a 5V y un bajo consumo de miliamperios.</p> <p>Tamaños pequeños: por lo general estos son pensados para el montaje superficial por lo que son fabricados en pequeñas escalas.</p>	<p>Potencia y memoria limitadas: por su reducido tamaño no cuentan con potencia de procesamiento y memoria suficiente para algunas aplicaciones.</p> <p>Dificultades de integración: algunos microcontroladores necesitan de una pcb específicamente para ellos por lo que no puede ser utilizado sin esta.</p> <p>Programación compleja: para un usuario nuevo en el tema su programación puede ser complicada al ser diferente a los lenguajes que se usan en los ordenadores.</p>

Fuente: diseño propio

ATmega y PIC. Existen muchos tipos diferentes de microcontroladores en el mercado que se fabrican según el uso final que se les va a dar, cada empresa desarrolla el suyo con especificaciones útiles y cada vez mejores intentando sobresalir ante la competencia. Para el proyecto inicialmente se realizó una previa investigación con el fin de elegir el más apropiado, para la elección se tuvieron en cuenta factores importantes como: su precio y disponibilidad en el mercado, cantidad de puertos análogos y digitales, programación en lenguaje C y capacidad de ser reprogramable.

En un principio para el proyecto se usa el PIC16f887 pensado para hacer sus respectivas conexiones en una protoboard, pero debido a que eran necesarios más de los 30 puertos digitales que tiene disponibles, se optó por utilizar el Atmega2560 con sus 54 entradas digitales que está integrado en la placa de desarrollo Arduino Mega.

Arduino Mega. Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo open-source construida con un microcontrolador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc. Las posibilidades de realizar desarrollos basados en

Arduino tienen como límite la imaginación (MCI Electronics, 2023).

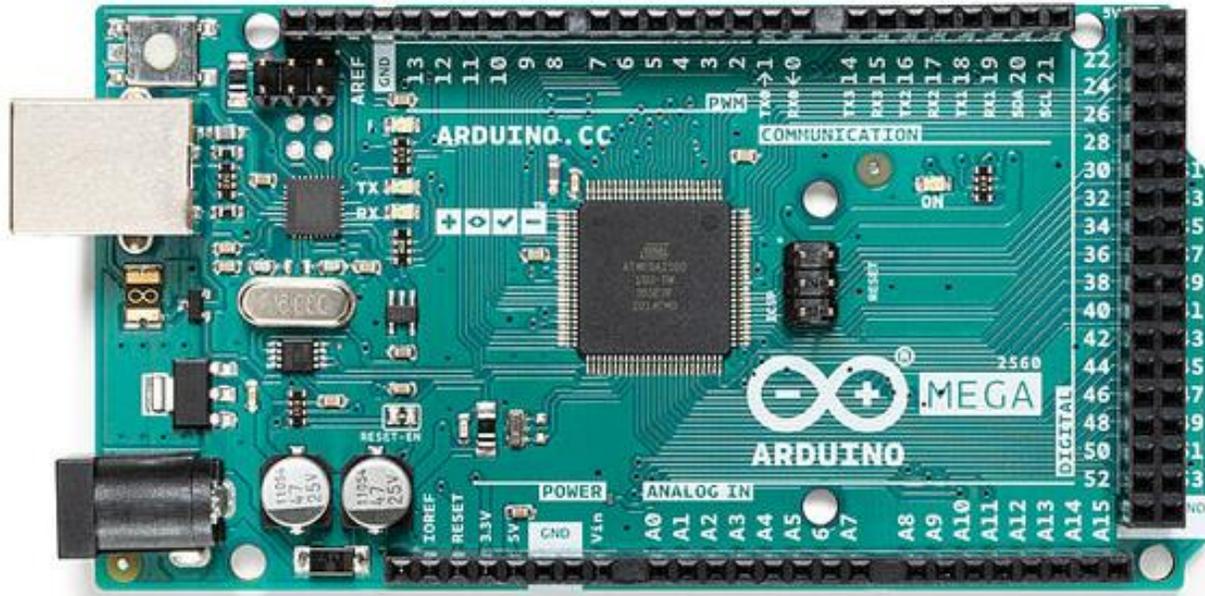


Figura 8. Arduino Mega

Fuente: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0506/1689/3647/products/A000067_00.front_618x464.jpg?v=1637830354

El Arduino mega se trata de una plataforma de código abierto en el cual cualquier persona puede realizar modificaciones a su código, estructura o utilizarlo comercialmente en prototipos propios. Este está diseñado para ser de fácil uso por lo que no es necesario mucho conocimiento en el área para diseñar o crear proyectos, además cuenta con una gigantesca comunidad de colaboradores que cada día diseñan más librerías y explotan al máximo el potencial de dicha plataforma.

A continuación, las especificaciones del Arduino Mega.

Arduino Mega 2560 Rev.3	
Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54
PWM Digital I/O Pins	14
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB
Flash Memory for Bootloader	8 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm

Figura 9. Características del Arduino mega.

Fuente:<https://cdn.portalfruticola.com/2018/01/018a37ac-arduino4.png>

Raspberry Pi y Jetson Nano. Aunque los microcontroladores tienen muchas aplicaciones en el momento que se necesita más potencia de procesamiento como en el caso de la inteligencia artificial, es necesario pasar a ver la alternativa de los microordenadores. Un microordenador podría describirse como un dispositivo que contienen todas las funcionalidades de una computadora, pero con la característica de que todo está pensado para ser a baja escala. Gracias a su potencia frente a los microcontroladores son utilizados habitualmente en programación y desarrollo de software complejos (Digital Guide IONOS, 2018).

Mientras que los microcontroladores contienen todos sus componentes como memorias y

periféricos en un solo chip, los microordenadores están diseñados de una forma modular por lo que es posible expandir y personalizar los componentes del sistema como serían sus memorias. La Raspberry Pi 4 y la Jetson Nano son dos microordenadores de bajo consumo y tamaño reducido con los cuales es posible ejecutar programas de reconocimiento de imágenes (visión artificial). Aunque la Raspberry Pi 4 para su reducido costo tiene un buen nivel de procesamiento con su procesador ARM Cortex-A72 de 64 bits, Su competidor de la marca Nvidia por otro lado por un precio más alto ofrece una placa de desarrollo de un nivel mucho mayor, ya que además de su procesador ARM de cuatro núcleos también contiene una unidad de procesamiento de gráficos (GPU) llamada NVIDIA Maxwell de 128 núcleos diseñada para aligerar la carga del procesador (Tan, 2022).

4.3.2 Visión artificial. La inteligencia artificial cada vez se vuelve más cotidiana, esta busca como objetivo principal dotar a las máquinas de capacidades humanas. Ejemplos de estas capacidades humanas serían las redes neuronales que se tratan de algoritmos basados en como el cerebro aprende. La inteligencia artificial se desarrolla a partir de algoritmos, son capacidades matemáticas de aprendizaje y de los datos que hacen falta para entrenar dichos algoritmos, estos son datos observables, disponibles públicamente o datos generados en algunas empresas, los mismos que repiten el proceso para aprender a partir de ellos (Redacción Gestión, 2018).

Una red neuronal puede ser entrenada con diferentes datos según la función que se requiera, esta es la razón de sus usos en reconocimiento de imágenes, predicción y clasificación de resultados, juegos, reconocimiento de voz, entre otros. Según cuantos datos se le otorguen el sistema podrá ser más eficiente y desempeñarse mejor en su tarea.

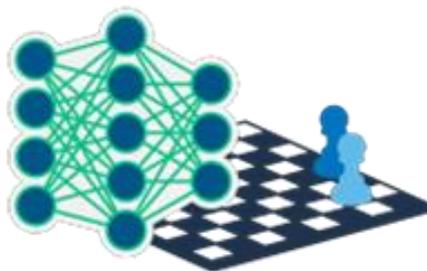


Figura 10. Redes neuronales

Fuente: https://www.sas.com/es_pe/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence/_jcr_content/par/styledcontainer_da93/par/styledcontainer_84a7/par/styledcontainer_a63a/par/image_6593.img.png/1501082306083.png

Muchas veces este tipo de sistemas se han destacado por encima de los humanos como el conocido ejemplo de los juegos de ajedrez, en el que por varios años las inteligencias artificiales han ganado incluso a campeones mundiales. Estos sistemas a diferencia de las personas, no olvidan ningún resultado que se introduce en su base de datos por lo que para cada situación conoce la posible mejor manera de actuar ante ella.

Si se piensa bien, se puede ver este tipo de sistemas en la cotidianidad, los predictores de texto en los teclados de los teléfonos o los buscadores de los exploradores son programados de esta manera. En el sector de la salud ya existen inteligencias artificiales que hacen un prediagnóstico a los pacientes según los síntomas que describen y clasifica radiografías en base a lo que detecta en ellas.

Para la tarea de inspección de resultados, los algoritmos de inteligencia artificial suelen ser muy eficientes, ya que solo realizan labores de comparación en búsqueda de semejanzas con otras que contengan en sus bases de datos. Por ejemplo, las empresas que implementan estos sistemas lo hacen en el análisis de imágenes del producto final con el objetivo de detectar imperfecciones que pudieran surgir en su fase de producción evitando afectar la calidad y estatus de la compañía ante el mercado.

El análisis y clasificación de imágenes no es un método que se pueda usar por sí solo para detectar las llamas en el entorno, para su realización se necesita de un sistema que sea capaz de ver y procesar las imágenes en tiempo real. La función en la que se va a enfatizar para este proyecto es el reconocimiento de imágenes mediante visión artificial, esta es la capacidad que tiene un sistema para detectar objetos, personas, animales o cosas en una imagen digital.

Las cámaras son la manera de emular la vista humana en una máquina. La visión artificial consiste en enseñarle al sistema el cómo interpretar las imágenes que se están captando. “Se puede definir la “Visión Artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales” (Generalitat de Catalunya, 2012).

Los sistemas de visión artificial no son tan complicados como pueden parecer, actualmente ya son muchos los usos que les damos en tareas como el reconocimiento facial, vigilancia, inspección de espacios, navegación robótica, etc.

Para implementar un sistema con visión artificial es necesario tener conocimientos avanzados en lenguajes de programación que cuenten con herramientas de procesamiento de imágenes por la cámara web, como sería la librería de OpenCV que es compatible con lenguajes como Python, Java o C++, por ejemplo. La ventaja de esta librería es que es del tipo “open source” por lo que cualquier persona necesite modificar su código o usarlo en alguno de sus proyectos puede hacerlo sin ningún problema.

Lo primero es por medio de programación usar técnicas de umbralización y segmentación de las imágenes, la umbralización trata de transformar una imagen a imagen binaria en la que los píxeles se clasifican en dos categorías distintas (blanco y negro). La segmentación trata de dividir la imagen en regiones más pequeñas para luego buscar similitudes entre píxeles y agruparlos en segmentos coherentes con el fin de reconocer alguna estructura relevante en la imagen. El proyecto está diseñado por medio de reacción de estímulos de sensores por lo que la explicación de la visión artificial sirve para dejar planteado los avances que se deben implementar en futuros proyectos.

4.3.3 Problemática del fuego. A pesar de que se sabe que el fuego de manera incontrolada puede ser un problema si no se trata rápidamente, los avances que hay en cuanto a la mitigación de esta problemática son pensados solo a grandes escalas. Aún en el mercado no se encuentra ningún robot autónomo de alerta temprana y control de llamas a la que la población en general pueda acceder. Es sabido que en la actualidad para esta problemática se utilizan dos tipos de sistemas de control y prevención que pueden ser automáticos o semiautomáticos, estos son los sistemas fijos y los sistemas móviles (MAPFRE Global Risks, 2023).

Los sistemas fijos. Se entiende por sistemas fijos los arreglos de redes hidráulicas que normalmente están anclados al techo en los cuales al detectarse automáticamente mediante algún sensor de flama, cámara térmica o termocupla, liberan el agua mediante rociadores. En este

grupo también se encuentran las alarmas contra incendios, estas son muy útiles al poder dar alerta de llama, pero sin poder tomar medidas contra esta (MAPFRE Global Risks, 2023).



Figura 11. Aspersores contra incendios

Fuente: <https://eduardovillafuerteblog.files.wordpress.com/2017/08/sistema-extincion-incendios2.jpg>

Los sistemas móviles. En este grupo están los organismos de bomberos de las ciudades que, aunque se especialicen en rescates y control de llamas, siguen siendo algo ineficientes cuando de pronta respuesta se trata. Y aquí es donde entra la robótica, un robot autónomo o semiautónomo, que constantemente está enviando datos a una base alejada del peligro puede ser muy útil para efectuar labores de rescate o ser equipado con un sistema para extinguir las llamas y así no poner en riesgo a ninguna persona mientras se intenta apagarlas (MAPFRE Global Risks, 2023).



Figura 12. La robótica emerge en la lucha contra incendios

Fuente: <https://encolombia.com/wp-content/uploads/2022/09/Robots-bomberos.jpg>

En ambos sistemas se puede evidenciar que no existen alternativas económicas, además de las alarmas detectoras de humo, esta es una problemática que afecta a toda la población en general ya que son pocos los hogares latinoamericanos que tienen sistemas preventivos, así que en el

momento que llegan los organismos de bomberos, posiblemente ya se haya perdido un gran porcentaje de las instalaciones y lamentablemente alguna vida en el peor de los casos.

Cuenta Víctor Espínola, director del CONAPCI México (Consejo Nacional de Protección Contra Incendios) “indicó que sólo el 30% de las empresas cuentan con algunos sistemas contra incendio, pero que hay casos donde los tienen extintores, carecen de detectores de humo o alarmas. En tanto en el tema de rociadores automáticos solo el 8% de los edificios en el país cuentan con estos mecanismos, aseguró el directivo” (ESPINOLA, 2020).

4.3.4 Dispositivos electrónicos asociados al control de incendios. En el siguiente apartado, se presentan algunos elementos relacionados con el proceso de detección, alerta y sofocación de incendios.

Sensores. Un sensor se puede definir como un dispositivo que convierte las magnitudes físicas en señales eléctricas que los microcontroladores pueden analizar, este tipo de señales eléctricas pueden ser de diferente tipo variando su voltaje y corriente para su interpretación en el microcontrolador. Por lo general las señales pueden ser de tipo digital, que estarían representadas en solo dos estados (high-low / 0 y 1 / 0V o 5V), o de tipo analógicas las cuales pueden representar señales variando su valor de voltaje proporcionalmente a su magnitud medida (por ejemplo, un sensor a su temperatura máxima entregaría 5V, 2.5V a su temperatura media y 0V a su temperatura mínima (Ingeniería Mecafenix, 2023).

Sensores de llama. Este tipo de sensores, más que para detectar la llama están diseñados para detectarla radiación infrarroja que el fuego pueda generar en un rango de 100cm. Cualquier cuerpo emite radiación infrarroja mientras genere calor por lo que es necesario modificar la sensibilidad de dicho sensor para evitar la falsa activación por diferentes señales de calor más bajas que las llamas. Este tipo de sensor puede ser configurado en cualquiera de los dos tipos de señales: analógico o digital (Zamux Electrónica, 2023).

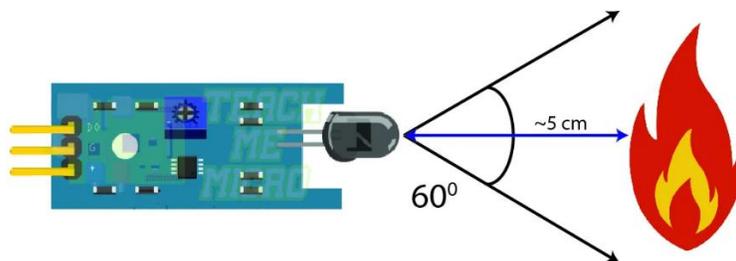


Figura 13. Sensor de llama

Fuente: extraído de <https://cdn.electronilab.co/wp-content/uploads/2022/04/Sensor-Infrarrojo-Llama-Flama-KY026-5cm-760-1100nm-5.png>

Sensores detectores de obstáculos. Los sensores detectores de obstáculos también conocidos como sensores de línea funcionan de una manera muy similar a los sensores de llama, están compuestos un emisor que envía una señal infrarroja que al rebotar con algo devuelve dicha señal hacia el receptor lo que indica la presencia de algún objeto en el campo hacia el que se está apuntando. En su configuración de funcionamiento digital solo envían un 1 lógico si el receptor recibe la señal luego de rebotar, de lo contrario habrá un 0 lógico en su salida (Revista Seguridad 360, 2022).

Para su configuración análoga este detecta la cantidad de luz reflejada y da un dato proporcional a esta en una señal de voltaje. Ciertos colores tienen la capacidad de absorber la radiación infrarroja y otros de reflejarla como sería el caso del blanco y negro, por lo que se puede aprovechar para aplicaciones de detección de una línea, de ahí el nombre por el que también es conocido (Revista Seguridad 360, 2022).

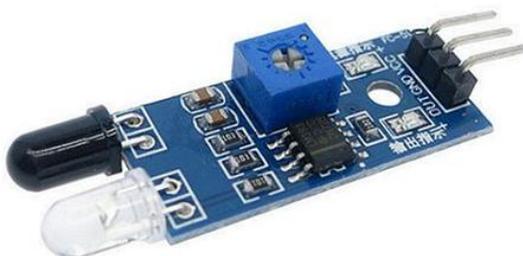


Figura 14. Sensor detector de obstáculos

Fuente: extraído de didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/SEN-INF-OBST.jpg

Sensores de choque (finales de carrera). Los sensores de choque o final de carrera se tratan de un dispositivo que detectan la presencia o ausencia de un objeto en el punto en el que están

instalados. Su funcionamiento se basa en la pulsación de un interruptor que puede ser del tipo normalmente abierto (NA) o normalmente cerrado (NC). Se pueden encontrar finales de carrera de tipo mecánico que sería un dispositivo que físicamente cierra o abre el circuito con un objeto externo, o de tipo magnético que mediante el campo generado cierra o abre el circuito o de tipo eléctrico en los que la pulsación de un switch hace el proceso de activación (Ingeniería Mecafenix, 2021).

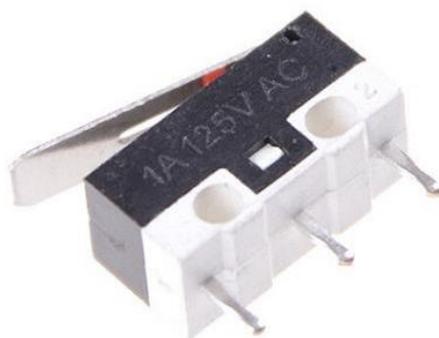


Figura 15. Final de carrera eléctrico

Fuente: extraído de <https://www.didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/SW-060A.jpg>

Sensores de ultrasonido. Los sensores de ultrasonido son otro tipo de sensor diseñados para detectar obstáculos a una distancia mayor de la entregada por los sensores infrarrojos, su funcionamiento es similar partiendo de un emisor y un receptor que en este caso envía y recibe ondas sonoras de alta frecuencia que rebotan en el objeto. Es posible calcular esta distancia al medir el tiempo que tarda desde que el emisor envía la onda hasta que el receptor la recibe (Ingeniería Mecafenix, 2021).

Según las ecuaciones de movimiento rectilíneo uniforme (MRU).

$$Distancia (D) = \frac{Velocidad (V)}{Tiempo (t)}$$

Donde la distancia (D) es igual a la velocidad (V) de la onda de ultrasonido (Velocidad del sonido 343m/s) dividido entre el tiempo (t) que le tarda a la onda viajar desde el emisor hasta el receptor.



Figura 16. Sensor ultrasonido

Fuente: extraído de

https://www.didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/Sensor_ultras__n_5063634159ab6.jpg

Actuadores. Al contrario de los sensores los actuadores son los dispositivos que convierten señales eléctricas en magnitudes físicas, por lo general los actuadores transforman la energía eléctrica en fuerza mecánica logrando el movimiento del sistema.

Motores DC. Los motores de corriente directa son actuadores que generan movimiento rotativo mediante energía eléctrica. Su funcionamiento suele ser más simple que otro tipo de motores de corriente directa, como serían los paso a paso, pues este girara todo el tiempo proporcionalmente al voltaje suministrado.

“El motor de corriente continua funciona gracias al poder del magnetismo, aprovechando las fuerzas de atracción y repulsión de los polos con el fin de crear movimientos de rotación. Este dispositivo emplea un rotor con dos polos magnéticos que interactúan de manera constante con un estator con polo N y un fijo de polo S; el rotor gira sobre su eje y gracias a la repulsión y atracción de sus propios polos con los del estator, se produce un movimiento constante” (sdindustrial, 2022).

En la mayoría de los casos los motores DC no cuentan con un buen torque por sí mismo, así que es común encontrar cajas reductoras ancladas al eje de salida del motor, una caja reductora es un arreglo de engranajes que por relación de transmisión reducen la velocidad de giro del motor aumentando la fuerza (torque) de este. En cuanto a la fuerza y velocidad necesarias esto dependerá de la aplicación y uso final del motor.



Figura 17. Motor DC con su caja reductora

Fuente: extraído de

https://www.didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/Micro_Motorreduc_52e813175f2ff.jpg

Puente H. Se trata de un driver de potencia el cual suministra el voltaje y corriente necesarios para el funcionamiento de motores de corriente continua, además, es capaz de invertir la polaridad de la tensión de entrada del motor por lo que puede modificar su sentido de giro y mediante señales de modulación de ancho de pulso (PWM) modificar su velocidad. Su nombre se debe a la configuración que utiliza para dar el sentido de giro que curiosamente tiene forma de H (AbrahamG, 2021).

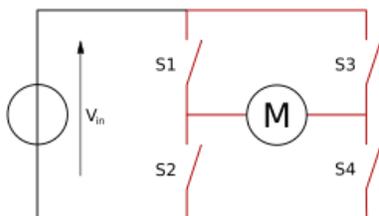


Figura 18. Estructura del puente H

Fuente: extraído de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d4/H_bridge.svg/250px-H_bridge.svg.png

De la *figura 18* se puede ver que cuando S1 y S4 se cierran se produce un sentido de giro y su lado contrario cuando S2 y S3 se cierran.

Speed control (ESC). El Electronic Speed Control (ESC) es un tipo de driver controlador de velocidad, dirección y frenado de motores brushless. Mayormente utilizado en aplicaciones de vehículos remotos no tripulados terrestres, acuáticos y aéreos como en el caso de los drone. “ESC de corriente continua en el sentido más amplio son PWM controladores para motores eléctricos. El ESC generalmente acepta una señal servo PWM de entrada 50 Hz nominal cuyo ancho de pulso varía de 1 ms a 2 ms. Cuando se suministra con un 1 ms de ancho de pulso a 50

Hz, el CES responde apagando el motor de corriente continua conectado a su salida. Una señal de entrada de 1,5 ms de ancho de pulso acciona el motor en aproximadamente media velocidad. Cuando se presentan con 2,0 ms de señal de entrada, el motor funciona a toda velocidad” (Vistronica, 2023).

Los ESC están diseñados para soportar la fuerte carga de corriente de los motores de alta potencia a los que son sometidos incluyendo sus picos de voltaje en el primer arranque.

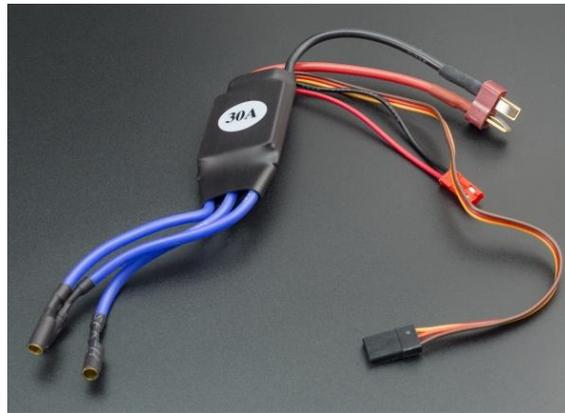


Figura 19. Speed control

Fuente: extraído de https://www.vistronica.com/21832-large_default/esc-controlador-de-velocidad-para-motor-brushless-30a.jpg

Motor brushless. Un motor brushless es otro tipo de motor de corriente directa que a diferencia de los motores convencionales este no trae escobillas para intercambiar la polaridad en el rotor, genera su movimiento por medio de fases que se apagan y encienden secuencialmente. La fuerza necesaria para generar los giros del rotor y que, además se vincula con el motor, viene entonces de un campo electromagnético creado por la corriente. A su vez, esta corriente interactúa con el campo magnético que generan los imanes permanentes que se encuentran en el rotor. El giro del rotor es controlado en todo momento por el variador electrónico, por lo que las escobillas, colector o delgas no son necesarias (cochesrc, 2023).



Figura 20. Motor brushless

Fuente: extraído de <https://www.tomahawkskateboards.com/wp-content/uploads/2020/12/partes-motor-electrico.png>

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

El proyecto se hace por medio de una investigación aplicada usando el método descriptivo por lo que se procederá a describir como fue el proceso de diseño, construcción y programación del robot contra llamas. Cabe aclarar que el robot fue diseñado pensando en las exigencias de un certamen de robótica el cual tiene como objetivo crear un ambiente controlado donde hay velas en diferentes puntos rodeadas de una serie de obstáculos que el robot de manera autónoma debe ser capaz de esquivar para acceder a la llama y acabar con ésta en el menor tiempo posible.

5.2 Método

Para este proyecto de grado se utilizaron las técnicas del método inductivo para la obtención de los resultados, las cuales se explican a continuación en las siguientes líneas.

Observación. Como se decía anteriormente, gracias a las competencias del evento Roborave, son muchas las personas que se animan a desarrollar este tipo de prototipos, por lo cual existe una gran variedad de ejemplos para formular una hipótesis sobre qué diseño se desempeña mejor para esta aplicación. Se tomaron en cuenta muchas de las estructuras allí mostradas, su configuración de sensores y sistemas para extinguir la llama.

Simulación y análisis de hechos. Partiendo de los datos observados, se comienza a trabajar en el sistema motriz y eléctrico del robot; se utilizan técnicas de impresión 3D para la construcción de algunas piezas necesarias y corte láser para su chasis. El robot fue realizado siguiendo las técnicas de prototipado rápido y diseño modular por lo que la configuración de sus módulos se realizó de la siguiente manera:

Primer módulo: - sistema de locomoción. Al tratarse de un robot de tracción diferencial, en su primer piso se tienen dos motores 12v que junto a una rueda loca producen la estabilidad de la plataforma. En este piso también se encuentra la batería, el puente H y los sensores de recuadro.

Segundo módulo: - sistema lógico de control. Aquí se encuentra lo que sería el chip programable para efectuar el control, que en este caso se trata de un Arduino Mega, aquí llegan las entradas de los 20 sensores de llama, los sensores de recuadro, finales de carrera y sensores de ultrasonido, todos estos funcionan integradamente para tomar los datos del espacio en el que se encuentra el robot para que puedan ser procesados. En sus salidas está el control del puente H para la dirección de los motores y el control del sistema para apagar llamas.

Tercer módulo: - sistema para apagar las llamas. En este módulo se coloca un potente motor brushless con su controlador de velocidad, el cual con una hélice de tamaño considerable empuja una gran corriente de aire capaz de extinguir cualquier flama.

Síntesis y pruebas. Finalmente se procede a poner en marcha el robot en el ambiente controlad, o sometándolo a difíciles pruebas de evasión de obstáculos, contrarreloj y diferentes alturas de llamas, con el fin de simular las probables situaciones con las que se podría encontrar a la hora de ponerlo en una situación real. El robot está pensado para funcionar de manera autómatas sin supervisión en la mayoría de los casos, así que por extrema que sea la situación en la que se encuentre, debe ser capaz de salir de ahí por su propia cuenta para dirigirse a su objetivo final, la llama.

5.3 Instrumentos de recolección de información

5.3.1 Fuentes primarias. Como fuentes primarias para la recolección de los datos necesarios para el desarrollo del proyecto se tuvieron los testimonios de otros creadores de robots similares, las pruebas realizadas en un prototipo propio y la observación de los robots participantes en las competencias de Roborave Nacional e Internacional en los últimos años.

5.3.2 Fuentes secundarias. Las fuentes secundarias para la recolección de los datos fueron las tesis y proyectos universitarios de diferentes autores y páginas web, artículos y revistas que hablan sobre este tipo de robots.

6. Resultados

Para el desarrollo de este proyecto se planteó un objetivo general, el cual para su cumplimiento se dividió en cinco objetivos específicos, quienes fueron abordados para la elaboración del proyecto, en este apartado se procederá a explicar detalladamente de qué manera fueron abordados y el proceso a llevado a cabo para el cumplimiento de cada uno de ellos, del mismo modo se hablará de los elementos utilizados, sus características y su precio.

6.1 Diseño de la estructura mecánica del robot

Sin contar la parte móvil (ruedas y motores), la estructura mecánica del robot se diseñó con tres placas cuadradas de acrílico, unidas con 4 varillas roscadas de 50 centímetros de largo cada una, las cuales están ubicadas en cada una de sus esquinas. Para los agarres de los pisos con las varillas de soportes se utilizan arandelas y tuercas con contratueras para mantenerlas rígidas.

Cada piso de acrílico está separado del anterior por la misma distancia de 16.6 cm, esto con el fin de tener una estructura lo suficientemente rígida y nivelada, es importante resaltar que mientras el centro de masa este lo más cerca al medio posible, la estructura será más estable, por lo cual cada carga debe ser equilibrada para no tener problemas de estabilidad.

Cada medida, material, corte y forma de algo en la estructura tiene su sentido y su razón de estar ahí, la estructura cuadrada se escoge con el fin de que el equilibrio del centro de masa se vuelva más sencillo, ya que solo hay que distribuir las cargas uniformemente. En cuanto a la altura total del robot, esta es pensada para que la corriente del viento generada pueda tener mayor altura para abarcar una mayor área de efecto sobre las llamas.

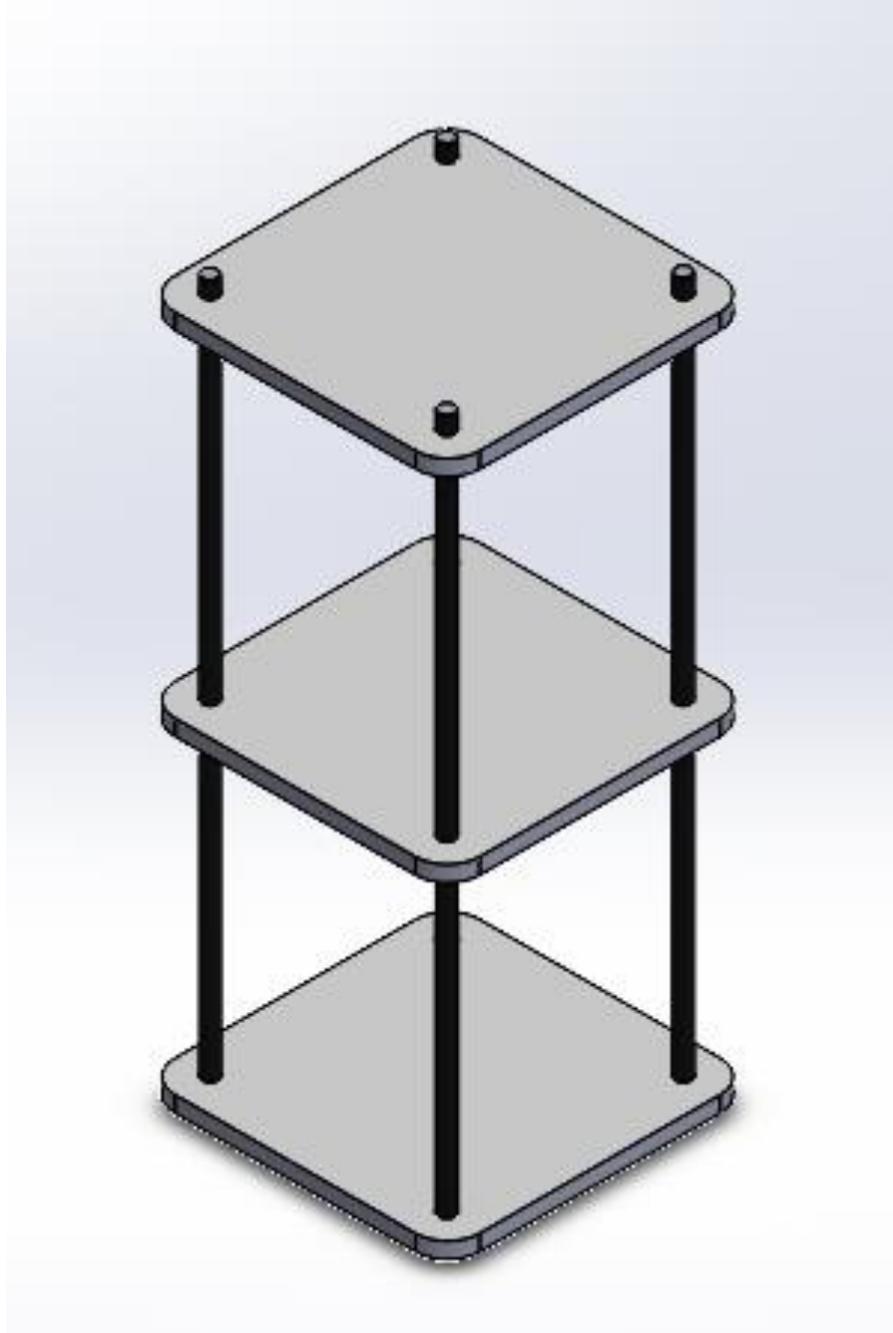


Figura 21. Estructura modular del robot en software CAD

Fuente: elaboración propia en Solid Works

Para el sistema locomotriz se optó por una tracción diferencial (*Figura 22*), en la cual la dirección y velocidad del robot este controlada por la diferencia de velocidad en los dos motores independientes que son controlados por el driver conectado al microcontrolador. Aunque la tracción diferencial puede que no sea el sistema que más estabilidad da, si es uno de los más fáciles de diseñar para los prototipos rápidos utilizados en pruebas.

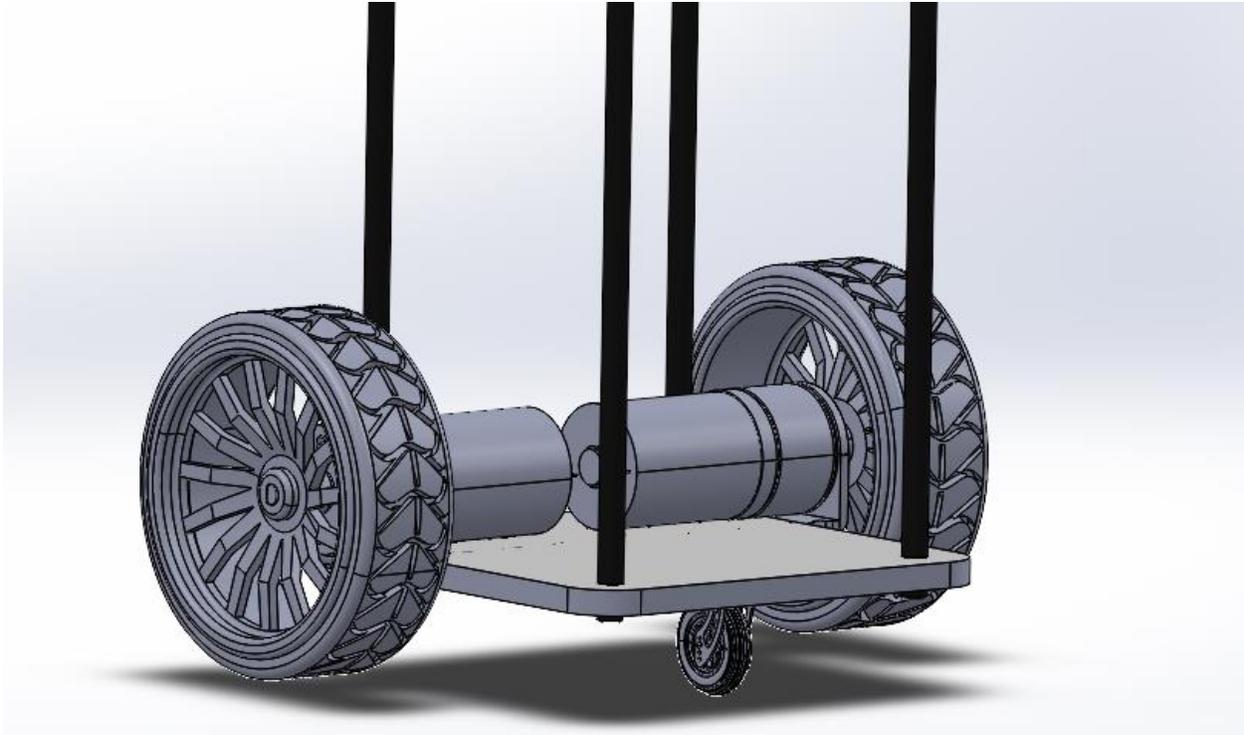


Figura 22. Sistema de locomoción del robot
Fuente: elaboración propia en Solid Works

La estructura debe contar con un sistema en el cual se pueda configurar la altura de los sensores de llama con el fin de eliminar los puntos ciegos que estos puedan tener, el funcionamiento del sistema consiste en un conjunto de bases que se acoplan a dos de las cuatro varillas (*figura 23*) y mediante los arreglos de tuercas y arandelas se puede modificar su posición a conveniencia.

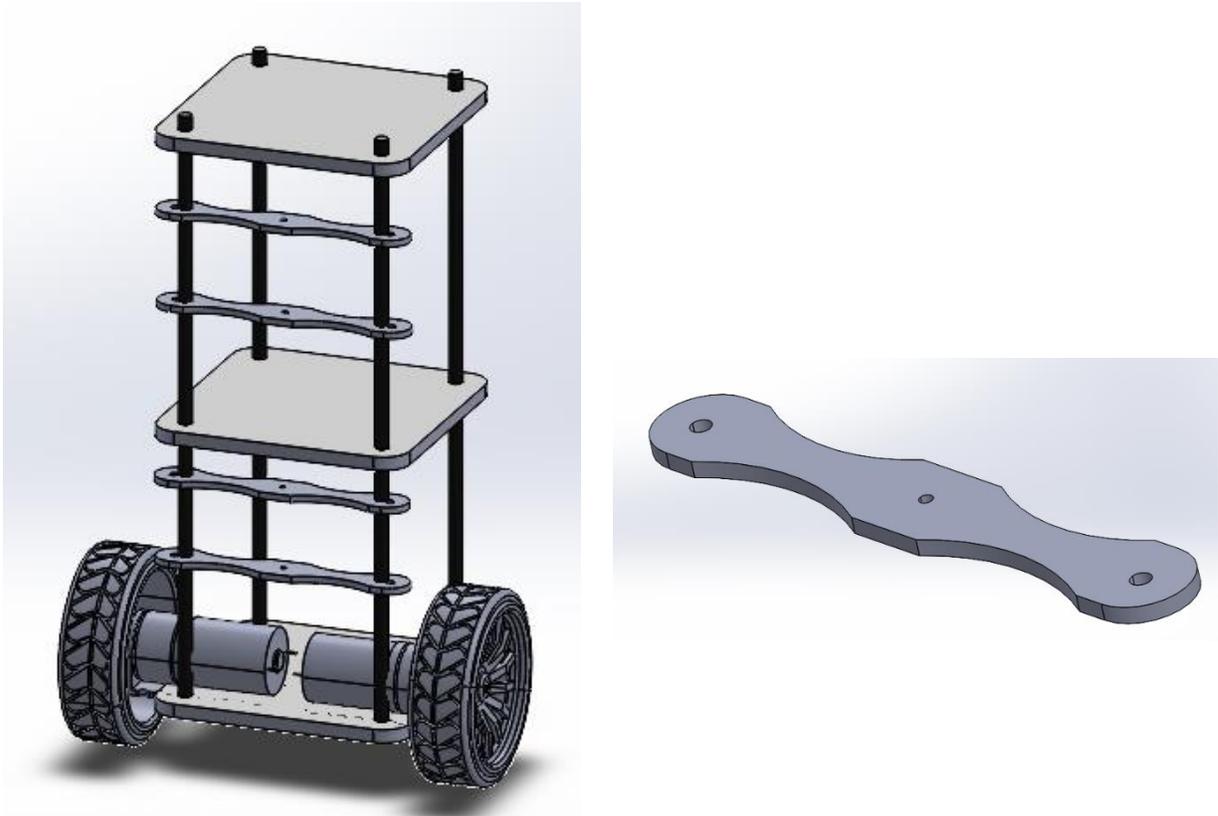


Figura 23. Soportes para módulos de sensores de llama
Fuente: elaboración propia en Solid Works

El sistema de acción contra el fuego puede ser desarrollado de muchas maneras, pero en este caso está pensado para funcionar mediante aire propulsado. Es bien sabido que los motores brushless utilizados en los drones, pueden girar lo suficientemente rápido y junto con una hélice de tamaño considerable generar una muy gran corriente de aire, con la que se pretende apagar las llamas que el robot encuentre. Además, la base del motor brushless debe de presentar una adecuada orientación con el fin de que el aire no llegue a las llamas solo desde la parte de arriba (*Figura 24*).

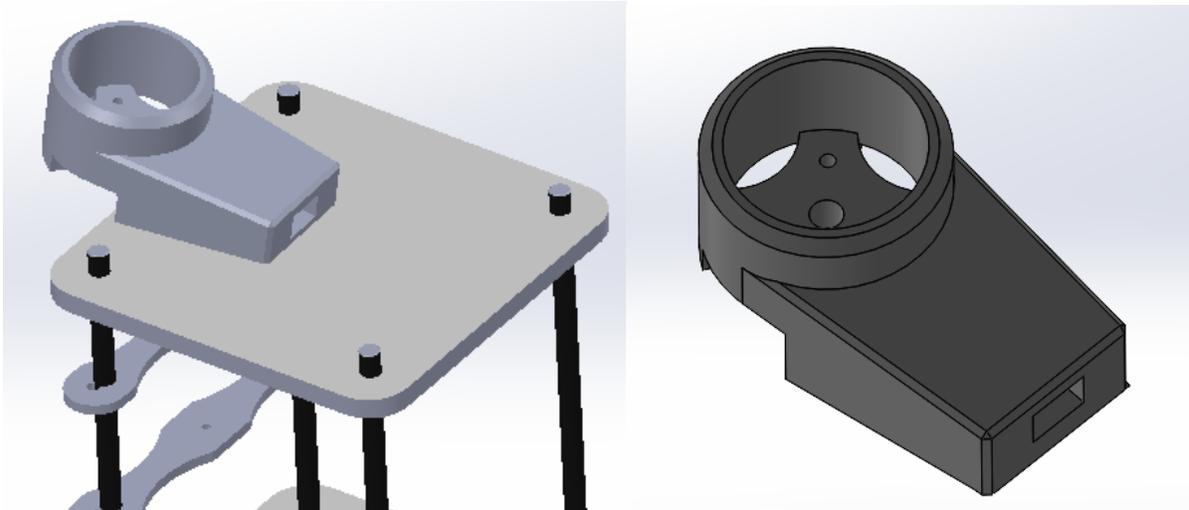


Figura 24. Base para el motor brushless
Fuente: elaboración propia en Solid Works

6.2 Diseño del sistema eléctrico y electrónico del robot

El robot completo funciona a través de señales digitales, razón por la cual cada uno de los sensores y drivers necesita ser cableado directamente al Arduino. En total los pines digitales necesarios para cada uno de los elementos es de 37, por lo que el microcontrolador debe tener suficientes para conectar todo, en este caso el Arduino mega es el más adecuado.

En primer lugar se presenta el diagrama general del diseño en la siguiente figura, luego se especificará cada bloque de manera independiente en las líneas subsiguientes.

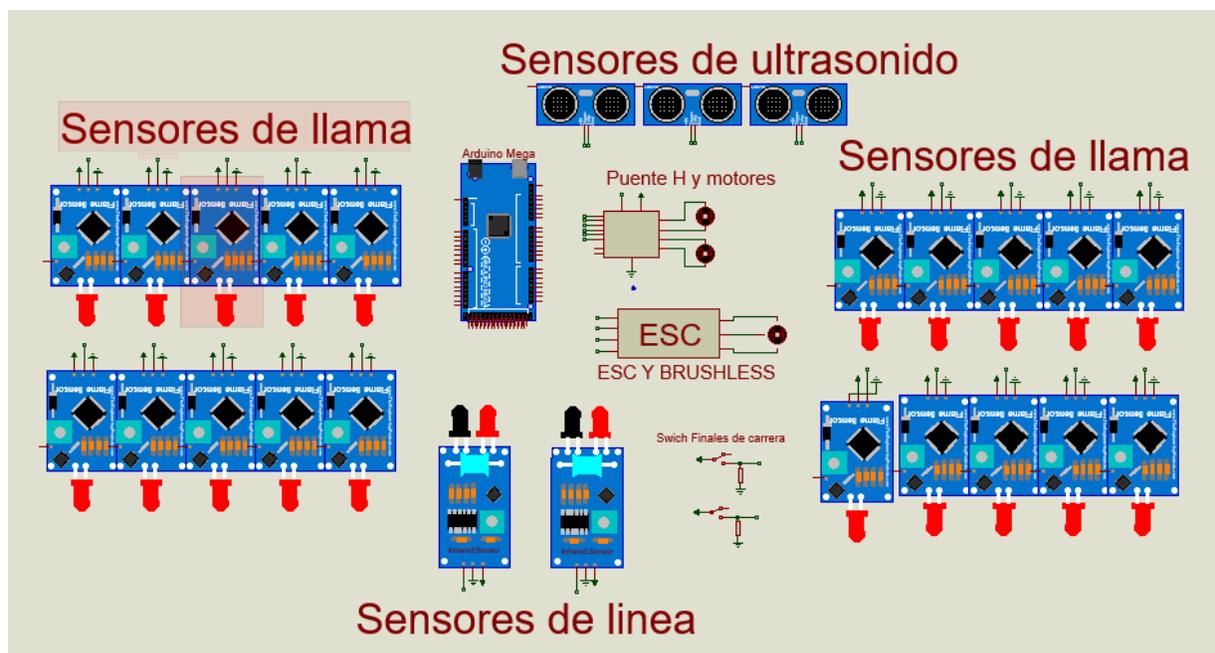


Figura 25. Todas las partes eléctricas y electrónicas que componen el robot
Fuente: elaboración propia en Proteus

Las conexiones de los sensores de línea y de llama suelen ser de las más fáciles, ya que solo requieren ser alimentados con 5 voltios y tierra que pueden tomarse directamente del Arduino por su bajo consumo de corriente. En cuanto a las señales, estos en su configuración digital cierran el circuito, permitiendo pasar un uno lógico al detectarse la suficiente radiación infrarroja, en el caso del detector de llama y al recibir la señal infrarroja en el receptor para el caso del sensor de línea.

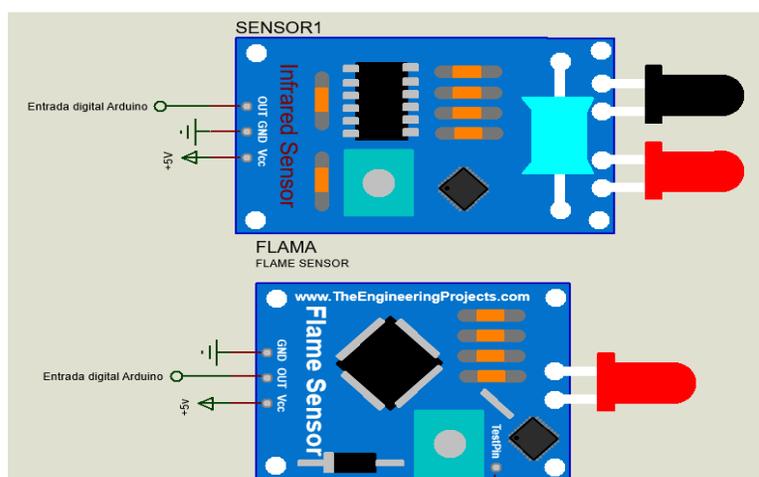


Figura 26. Sensores de flama y línea
Fuente: elaboración propia en Proteus

En el caso del sensor final de carrera, se tiene un circuito que mediante una resistencia de un valor alto, en este caso 10k, mantiene la entrada digital en cero lógico e impide que pueda ocurrir un cortocircuito en el momento que el *switch* por un golpe físico se cierre. Cuando el circuito se cierra se permite el paso de corriente entre +5v a la entrada digital del Arduino o lo que sería el pasar al uno lógico.

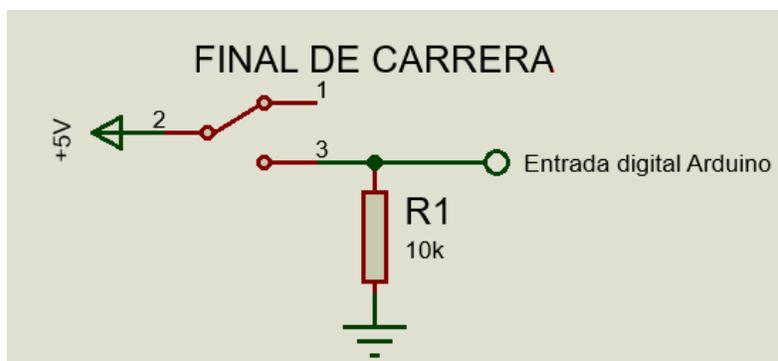


Figura 27. Estructura del sensor final de carrera

Fuente: elaboración propia en Proteus

Para la conexión de los sensores ultrasónicos también es necesario alimentarlos con +5v y GND desde el Arduino. Son necesarios en este caso dos pines digitales, un pin de entrada que sea el que habilite el pulso del emisor (echo) y un pin que reciba ese pulso de ultrasonido (trigger), con el fin de realizar el cálculo de la distancia con base al tiempo y la velocidad del sonido.



Figura 28. Estructura de los sensores de ultrasonido

Fuente: elaboración propia en Proteus

Para operar el driver que controla los motores se utilizan seis pines digitales, dos de esas salidas serán de tipo PWM con el fin de modificar la velocidad individual de los motores por medio de las entradas ENA y ENB, las otras cuatro señales digitales son para el control del sentido de giro de los motores (IN1, IN2, IN3 e IN4). El puente H se alimenta con una batería diferente a la del Arduino. Vcc es de 12v en este caso, para evitar problemas con el ruido eléctrico, esta batería es del mismo voltaje al que trabajan los motores.

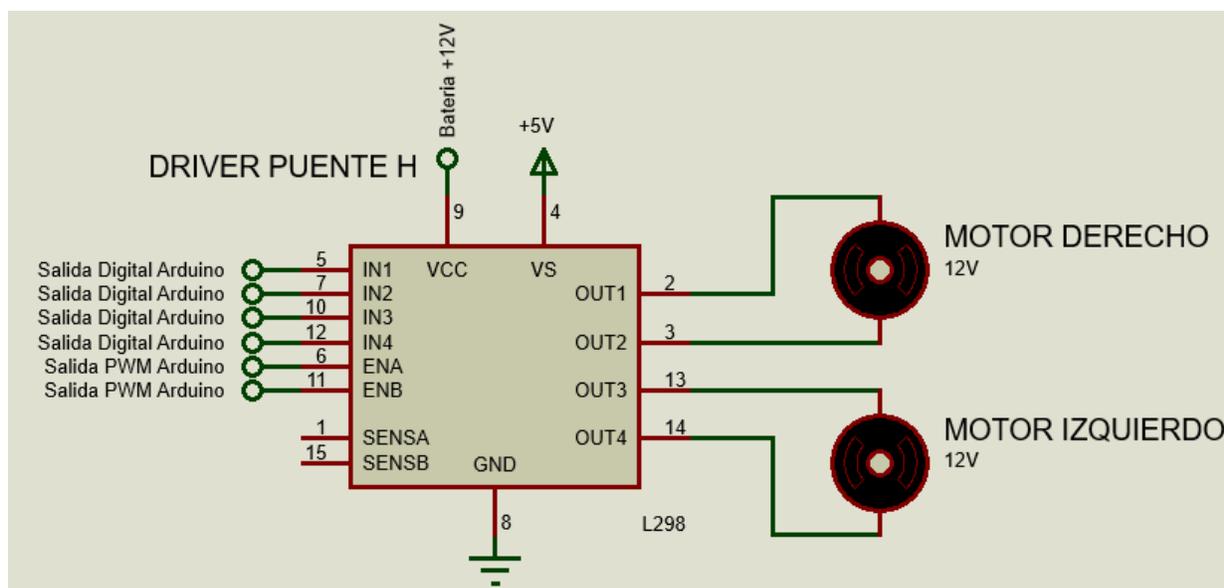


Figura 29. Configuración del puente H y los motores dc

Fuente: elaboración propia en Proteus

El ESC, variador de velocidad o Speed Control como también se conoce, por sí solo ya se encarga de generar los pulsos y frecuencias para el control del motor brushless y está diseñado para necesitar tan solo una señal PWM con el fin de ajustar la velocidad del motor. También utiliza una batería externa a la del Arduino para evitar problemas debido el alto consumo de corriente que requiere este tipo de motor.

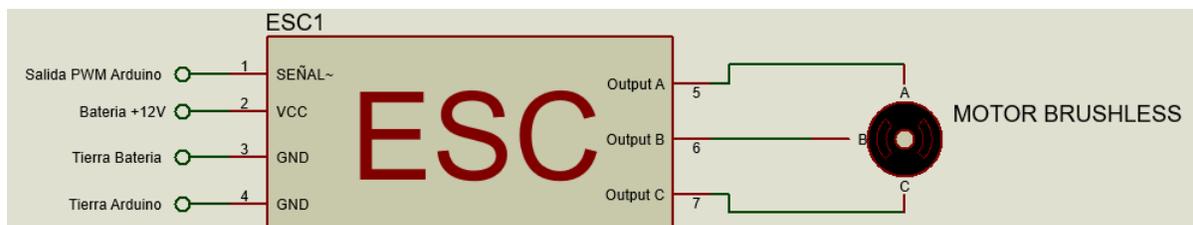


Figura 30. Configuración del speed control para el motor brushless

Fuente: elaboración propia en Proteus

6.3 Implementación de los diseños del robot

Tras la realización de los diseños, tanto de la estructura, como de los circuitos destinados para el control del robot, se pasa a lo que sería la elección de piezas, al ensamblado e impresión 3D. Primero se ensambla la estructura mecánica y luego las conexiones eléctricas, en la descripción de este objetivo también se mostrará la ficha técnica de cada una de ellas, su precio y sitio de compra.

6.3.1 Ensamblaje de la estructura mecánica. Es importante recordar que el diseño de la estructura modular del robot está compuesto por cuadrados (*Figura 21*), indagando por materiales que cumplieran con las características resistencia y bajo peso para no perjudicar la estabilidad, se optó por usar placas de acrílico de 19x19cm y 5mm de espesor, mediante corte laser se marcaron sus dimensiones y se hicieron los agujeros para que pudieran pasar las varillas roscadas, las dimensiones de dichas varillas son de 5/16” con un largo total de 50 centímetros.

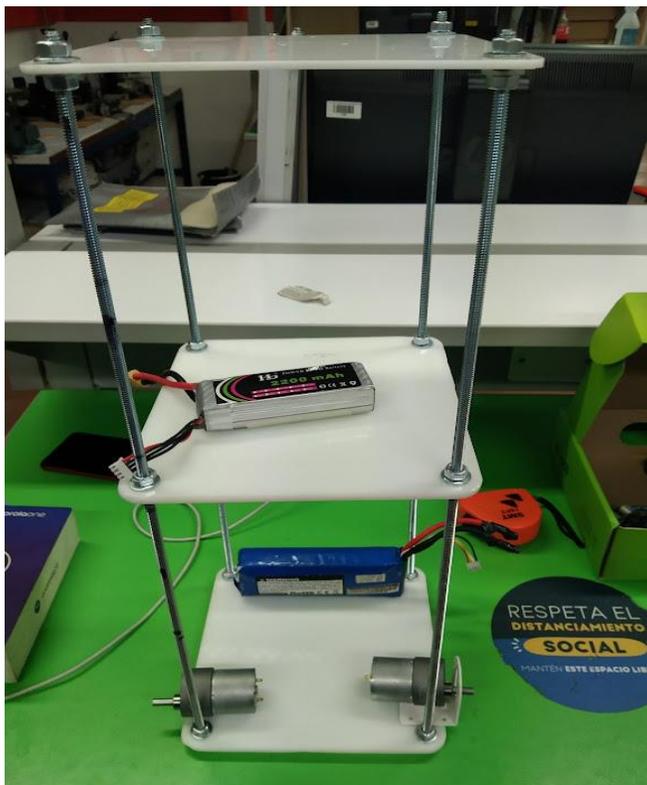


Figura 31. Estructura modular del robot física

Fuente: fotografía tomada por el autor

Nota: en esta figura se puede evidenciar el sistema de sujeción de tuercas y arandelas utilizadas en todas las partes del robot, al apretar cada una de ellas la estructura adquiriría una buena estabilidad y rigidez

Hablando de los costos al día de hoy, el precio por metro cuadrado (m^2) de acrílico de 5mm de espesor ronda los 165.000 COP en promedio y el metro de una varilla roscada de 5/16" se encuentra alrededor de los 10.000 COP.

A continuación, se realizan los soportes para los sensores detectores de llama mediante la misma técnica de corte láser del acrílico utilizada para los pisos, estos se diseñan con el fin de que sean livianos para que su efecto en cuanto al centro de gravedad no sea considerable.



Figura 32. Corte laser del acrílico

Fuente: fotografía tomada por el autor

Nota: en esta imagen se están cortando los cuatro soportes de los sensores de llama

Para el proyecto se necesitó de una cantidad considerable de sensores de llama, pues el objetivo es que por muy pequeña que esta sea, el robot pueda detectarla a una distancia considerable, los soportes están hechos de manera que se pueda variar su altura para eliminar puntos ciegos o problemas con fuentes de llama muy pequeñas.

Es por esto que se opta por usar sensores de llama de cinco canales en uno solo, este dispositivo acopla cinco sensores infrarrojos en un solo módulo, separados cada uno a 30° para

cubrir un área de 120° en total. Se utilizan cuatro de estos arreglos para un total de 20 sensores infrarrojos repartidos a lo largo de la estructura en su parte delantera. Este módulo tiene la peculiaridad de ser configurado para entregar una señal de salida analógica o digital, pero para la aplicación pensada sólo se utilizará su configuración digital.

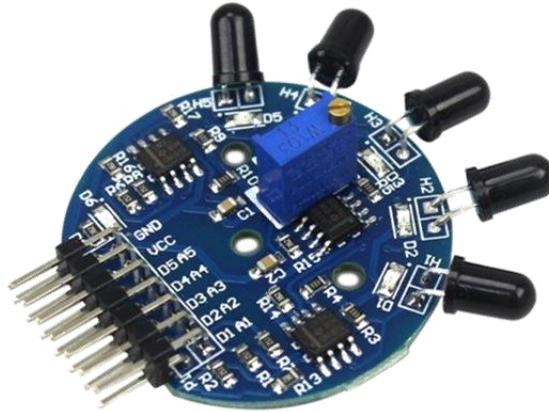


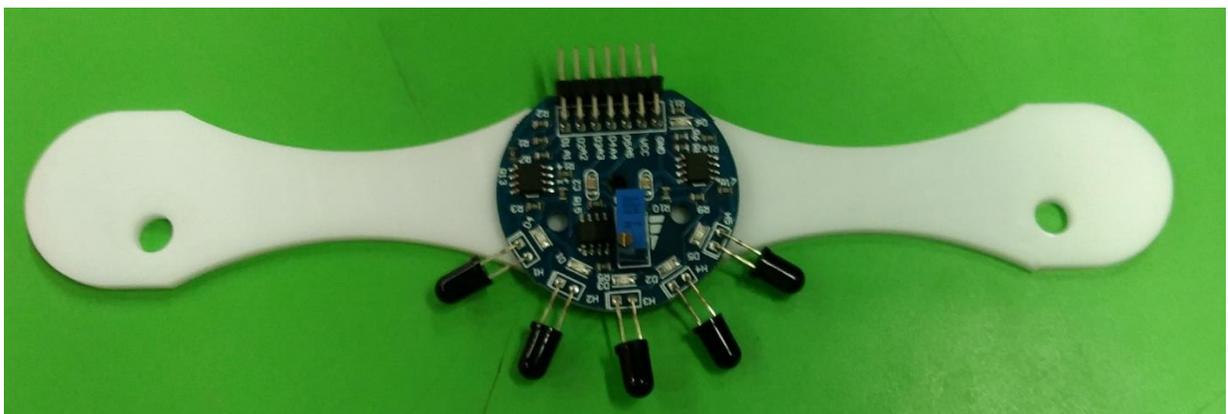
Figura 33. Arreglo de sensores de flama

Fuente: extraído de

https://www.ardobot.co/pub/media/catalog/product/cache/2641e33458f1ae4a696b47b0da974426/f/l/flama_1_.jpg

Nota: Su precio es de 14300 COP

Para acoplar el arreglo de sensores con su soporte, solo se utiliza un tornillo que atraviesa el orificio que tiene el sensor en la mitad y el orificio que hay en el soporte siendo sujetado por una tuerca.



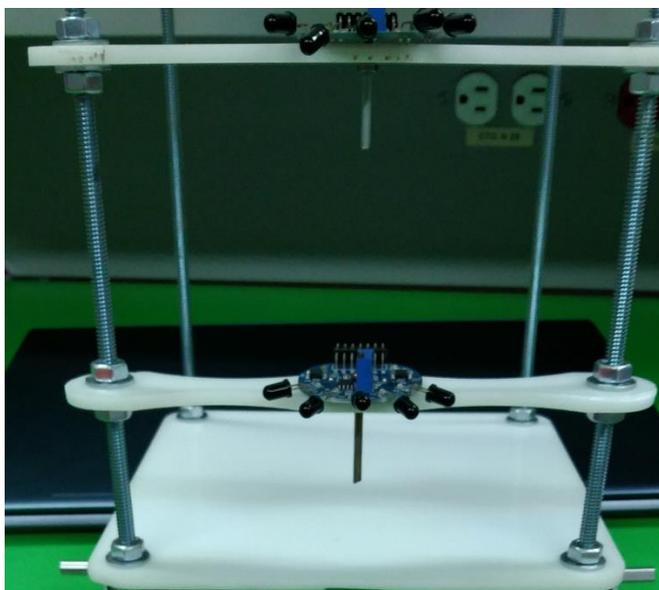


Figura 34. Ensamblaje de los sensores de llama

Fuente: fotografía tomada por el autor

Una vez la estructura lista, se procede al ensamble del sistema de locomoción. En el modelo de tracción diferencial que se implementó son necesarios dos motores que deben de estar ubicados en la parte delantera o trasera del robot y una rueda de giro libre como soporte en la parte contraria a los motores. Para la elección de dichos motores se buscó que presentara un alto torque y bajas RPM, con el fin de que el robot se pueda mantener estable y no caiga por inercia al momento del frenado o de la aceleración.



Relación de transmisión:	131.25:1
Velocidad sin carga @ 12V:	76 rpm
Corriente sin carga @ 12V:	0,2 A
Corriente de parada @ 12V:	5,5 A ³
Par de parada @ 12V:	45 kg·cm ³
Potencia máxima de salida @ 12V:	6 W ⁴
Velocidad sin carga @ 6V:	38 rpm ⁵
Corriente sin carga @ 6V:	0,15 A ⁵
Corriente de parada @ 6V:	3.0 A ⁵
Par de parada @ 6V:	28 kg·cm ⁵
Tipo de motor:	12V

Figura 35. Motor utilizado con sus especificaciones

Fuente: extraído de <https://www.pololu.com/product/4746/specs>

Nota: su precio es de 32.95 USD por unidad

El motor elegido tiene una velocidad de 76 RPM en su piñón de salida gracias a su caja reductora interna (131:1). Según su ficha técnica, este motor funcionando a 12V sometido a su carga máxima de 45kg consumiría una corriente de 5,5 amperios, luego de realizar el cálculo con el peso total del robot se llega a la conclusión de que no se supera un amperio, es por esto que se puede utilizar un puente H que resista un amperio en cada canal.

Los soportes para fijar dichos motores a la estructura también son de la misma marca (Pololu), por lo que el acople a la estructura se vuelve una tarea sencilla. Las llantas para dichos motores se convirtieron en una de las tareas más complicadas, pues comercialmente no fue posible encontrarlas con el acople y medida que se requerían, es por esto que se procede a diseñarlas en el software CAD Fusión 360 y posteriormente son impresas en los polímeros ABS y TPU.

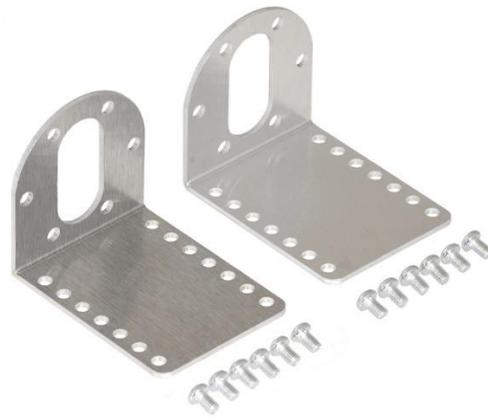


Figura 36 Soportes de motores

Fuente: Extraído de <https://a.pololu-files.com/picture/0J1115.1200.jpg?aac3febbe9f3516213e496ae68c471f5>

Nota: Su precio es de 9.95 USD el par

Las llantas constan de una pieza interna y otra externa, unidas entre sí por compresión, pues el diámetro del anillo exterior es de unos milímetros menor que el diámetro del anillo interior. El anillo interior se trata de una pieza en plástico rígido y resistente (ABS) que tiene la forma del eje del motor para su acople y un espacio para un piñón prisionero que los mantenga unidos.

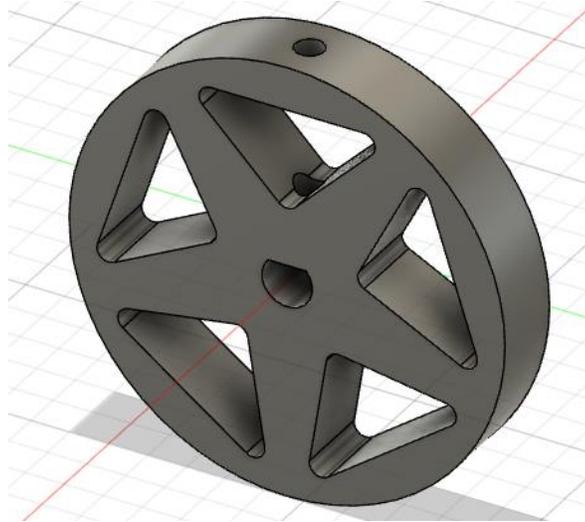


Figura 37. Anillo interior de la llanta
Fuente: elaboración propia en Fusion 360

El anillo exterior está inspirado en los neumáticos sin aire que la reconocida empresa de llantas para coches Michelin lleva diseñando por años. Estos neumáticos a diferencia de los convencionales que usan los autos, están hechos de un material elástico que permite deformaciones y cuenta con un buen agarre al piso. Para recrear estas propiedades, el diseño es impreso en TPU que se trata de un polímero con propiedades elásticas. Aprovechando estas propiedades del material, se pueden ensamblar las dos piezas sin necesidad de ningún tipo de pegamento o sistema de sujeción.



Figura 38. Anillo exterior de la llanta
Fuente: elaboración propia en Fusion 360

En cuanto a la rueda de soporte no hay mucho que destacar, cualquier rueda que permita un giro en todas las direcciones con la fricción mínima sirve para esta aplicación.



Figura 39. Rueda libre

Fuente: extraído de <https://www.didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/ROD-S11.jpg>

Nota: Su precio es de 4165 COP

Una vez se tienen todas las piezas, se procede a armar el primer piso de la estructura, que se trata del sistema de locomoción.

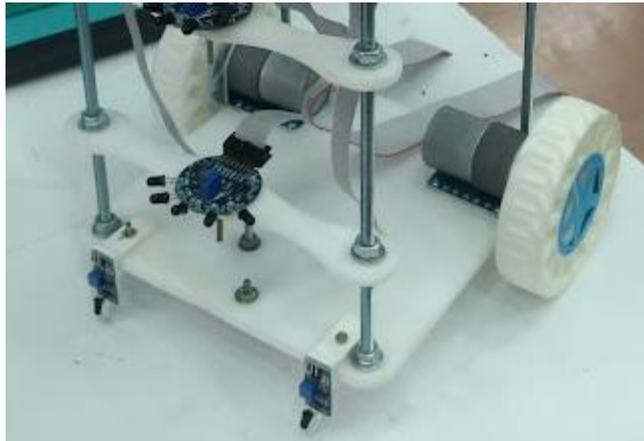


Figura 40. Implementación del sistema de locomoción

Fuente: fotografía tomada por el autor

En el caso del resto de los soportes de baterías y sensores como los ultrasónicos, finales de carrera e infrarrojos, se crearon en impresión 3D.

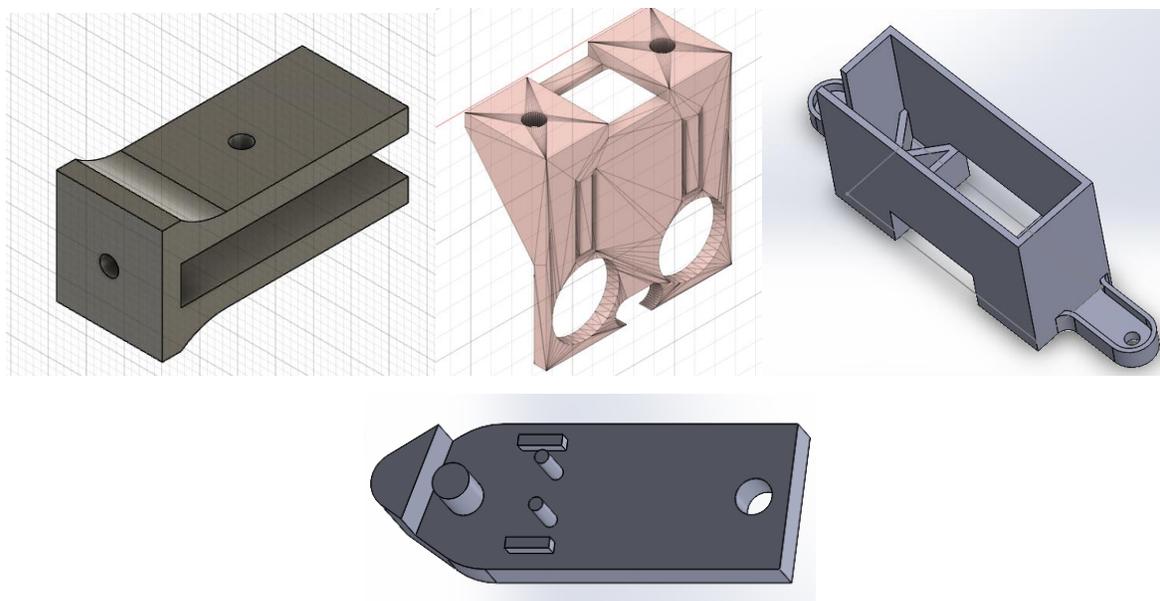


Figura 41. Soportes de sensores

Fuente: elaboración propia en Fusion 360 y Solid Works

6.3.2 Conexiones eléctricas. Después del ensamblaje del robot, acción a través de la cual se ubicaron todos los sensores necesarios, el paso a seguir consistió en realizar el cableado eléctrico de cada uno ellos. Para el cableado se utilizan citas de cable ribbon plano, conectores rápidos en uno de sus extremos y conectores macho y hembra también llamado headers.

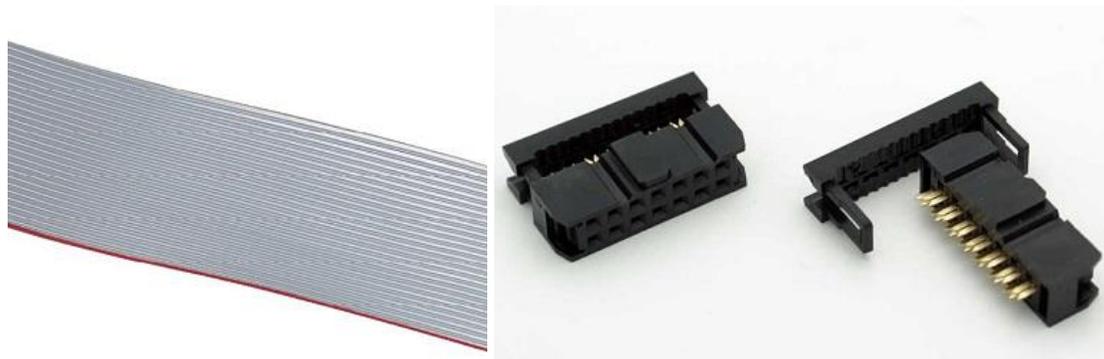


Figura 42. Cable ribbon y su conector rápido

Fuente: extraído de <https://www.didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/R40H.png> y <https://www.didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/CON-RIBBON-14.jpg>

El cable ribbon plano usado se trata de 16 hilos de cobre recubiertos por una protección de plástico y unidos por temperatura, aunque por su limitado tamaño no pueden soportar mucha corriente, funcionan perfecto como cable para las señales de los sensores. Existen en el mercado conectores para estos cables en los que las uniones se hacen por medio de perforación, así que no

es necesario utilizar soldadura para unirlos. Este es el método utilizado en la conexión de los sensores.

En el extremo del cable que iba hacia el Arduino se utilizaron técnicas de soldadura para unir las terminales con headers macho o hembra según se necesitara. Estas uniones son llamadas “conexiones rápidas” y son frecuentemente utilizadas en la creación de prototipos en los que constantemente se modifican sus conexiones para hacer pruebas. Al soldar el cable con el conector siempre queda muy cerca la soldadura entre los cables, por lo que se usa un material aislante para prevenir cortocircuitos por el cruce indeseado entre ellos. El aislante utilizado en este caso fue termo encogible.

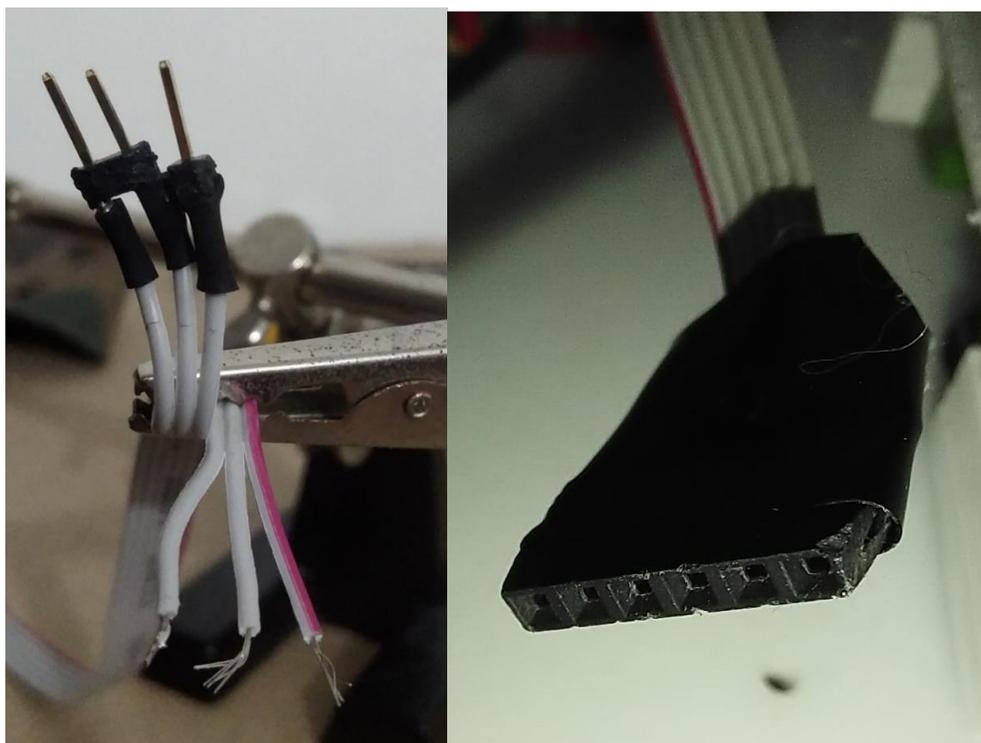


Figura 43. Conexiones de headers macho y hembra
Fuente: fotografía tomada por el autor

Para el sistema de control que estará ubicado en el segundo piso, se utiliza un Arduino Mega alimentado por una batería LiPo de dos celdas conectada a un regulador de voltaje fijo a cinco voltios. El Arduino Mega ya cuenta con un regulador de voltaje interno, el cual puede resistir voltajes de 6V a 20V, sin embargo, es importante recordar que este proyecto se trata de un prototipo que no había sido probado hasta ahora, así que, con el fin de proteger al Arduino y

todos los sensores, se utiliza este regulador como protección ante cualquier corto o sobre corriente.



Figura 44. Regulador de voltaje 5v

Fuente: extraído de https://www.didacticaselectronicas.com/images/stories/virtuemart/product/MP1484-5V_1.jpg

Nota: su precio es de 6000 COP

Mediante baquelas perforadas, *headers* macho y soldadura, se diseñan conectores directos de los pines out+ y out- del regulador de voltaje (*figura 45*), esto con el fin de tener puntos para la alimentación de todos los sensores y el Arduino utilizados.

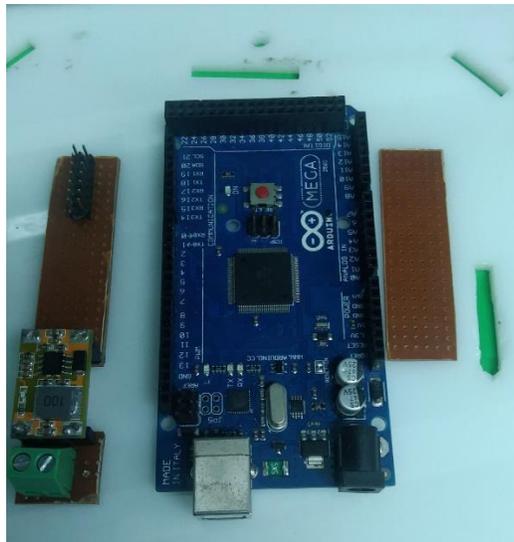


Figura 45. Estructura de potencia para el Arduino

Fuente: fotografía tomada por el autor

Finalmente se realizan todas las conexiones siguiendo la estructura planteada en el objetivo específico número dos y se energiza el sistema para comprobar que en efecto todo está correctamente conectado.



Figura 46. Arduino con todas sus conexiones
Fuente: fotografía tomada por el autor

Luego se ubican estos circuitos en la estructura principal del robot, según se había dispuesto en el diseño.



Figura 47. Primera prueba de energizado luego del cableado

Fuente: extraído de Fotografía tomada por el autor

Nota: el cable utilizado para alimentar el ESC y los motores es de un calibre mayor debido a la corriente que estos necesitan

6.4 Algoritmo de control del robot

Para el desarrollo del algoritmo de control del robot se utiliza el IDE de Arduino mediante el lenguaje de programación C. Lo primero que se hace para la implementación del código es incluir las librerías requeridas, para este caso se usó la conocida librería de “servo.h” para el control de la velocidad del motor brushless y una librería para simplificar el código de manejo de los sensores ultrasónicos llamada “ultrasonic.h”.

```

1 |
2 | #include <Ultrasonic.h>
3 | #include <Servo.h>

```

Figura 48. Librerías

Fuente: elaboración propia en Arduino IDE

Posterior a inclusión de las librerías se procede a definir los pines en los que están conectadas todas las entradas y salidas de los sensores y actuadores para guardarlos con nombres específicos según se trate, esto con el fin de que sea más fácil llamar un pin en otro punto del programa donde se necesite ejecutar una acción con él.

```

40 | // Motor A
41 | int ENA = 5;
42 | int IN1 = 6;
43 | int IN2 = 7;
44 |
45 | // Motor B
46 | int ENB = 10;
47 | int IN3 = 8;
48 | int IN4 = 9;

```

Figura 49. Ejemplo de definición de pines

Fuente: elaboración propia en Arduino IDE

Seguido de esto está la sección de configuración o void setup(), donde es necesario indicar al Arduino que pines se van a comportar como entrada (INPUT) o salida (OUTPUT), además en este lugar se inicializa el motor brushless enviándole un pulso de prueba.

```

//sensor central
pinMode (cd1, INPUT);
pinMode (cd2, INPUT);
pinMode (cd3, INPUT);
pinMode (cd4, INPUT);
pinMode (cd5, INPUT);

```

Figura 50. Ejemplo de declaración de pines

Fuente: elaboración propia en Arduino IDE

Luego se procede a realizar las funciones, una función en programación se trata de un subprograma que puede ser llamado mediante el nombre establecido y contiene un bloque de código diseñado para cumplir una función específica. El programa se realiza con funciones para cada uno de sus sistemas de sensores.

Se crearon entonces funciones de movimiento adelante(), atrás(), izquierda(), derecha() y parar(), que en el momento de ser llamadas envían las ordenes específicas al puente h para realizar el movimiento relacionado.

```

8
9 void Adelante ()
10 {
11
12 //Direccion motor A
13 digitalWrite (IN1, 1);
14 digitalWrite (IN2, 0);
15 analogWrite (ENA, acelerard); //Velocidad motor A
16 //Direccion motor B
17 digitalWrite (IN3, 1);
18 digitalWrite (IN4, 0);
19 analogWrite (ENB, acelerari); //Velocidad motor B
20 }

```

Figura 51. Ejemplo de función para ir hacia adelante

Fuente: elaboración propia en Arduino IDE

También se crean las funciones ultrasonico() y bomper(), las cuales tienen el trabajo de evadir obstáculos, su objetivo se basa en redirigir la trayectoria del robot cuando este se encuentre con algún impedimento en su camino hacia la llama. Los ultrasónicos son sensores que necesitan que la onda que envían rebote contra algún objeto y así regrese, el problema está en que no siempre se dan las condiciones para que el sonido pueda volver en el rebote, así que se tienen como alternativa los finales de carrera que al activarse por un choque físico cambian la trayectoria del robot.

```

198 void bomper()
199 {
200   int bd =digitalRead(bompdere);
201   int bi =digitalRead(bompizq);
202   // Serial.println(bd);
203   if(bd==1)
204   {
205     Parar();
206     Atras();
207     delay(500);
208     Izquierda();
209     delay(300);
210   }
211   if(bi==1)
212   {
213     Parar();
214     Atras();
215     delay(500);
216     Derecha();
217     delay(300);
218   }
219 }

171 void ultrasonico()
172 {
173   //sensor central
174   int ultracentro = ultrasonic.Ranging(CM);
175   if(ultracentro<15)
176   {
177     Derecha();
178     delay(100);
179   }
180   int ultraderecho = ultrasonicd.Ranging(CM);
181   if(ultraderecho<15)
182   {
183     Derecha();
184     delay(100);
185   }
186   //sensor izquierdo
187   int ultraizquierdo = ultrasonici.Ranging(CM);
188   if(ultraizquierdo<15)
189   {
190     Izquierda();
191     delay(100);
192   }
193 }

```

Figura 52. Ejemplos de las funciones para la detección de obstáculos

Fuente: elaboración propia en Arduino IDE

Para el diseño de la función de detección de llamas se optó por poner a funcionar los sensores de cada columna como uno solo mediante la función lógica OR, esta implementación resolvía el problema de tener que poner a funcionar todos los sensores en armonía sin que hubiera problemas con la activación simultánea.

El diseño del código para ir hacia la llama es simple, el robot girará más cuando el sensor del extremo esté activo, hasta que se active el siguiente sensor haciéndolo girar un poco menos rápido, hasta que finalmente se active el sensor del centro que dará la orden de ir hacia adelante. En el momento que la llama esté lo suficientemente cerca del robot, este activará todos sus sensores a la vez, cumpliéndose así la condición para encender el sistema del motor brushless para extinguir el fuego.

```

if((digitalRead(cd4)) || (digitalRead(cd3)) || (digitalRead(cd2)) || (digitalRead(dd4)) || (digitalRead(dd3)) || (digitalRead(dd2)) || (digitalRead(id4)) || (digitalRead(id3)) ||
{
  ESC.writeMicroseconds(vel); //Generar un pulso con el numero recibido
  Adelante();
  delay(200);
  Parar();
  delay(200);
  Derecha();
  delay(500);
  Izquierda();
  delay(1000);
  Derecha();
  delay(500);
  ESC.writeMicroseconds(1000); //Generar un pulso con el numero recibido
  Atras();
  delay(1500);
}

```

Figura 53. Ejemplo de la parte de la función flama()

Fuente: elaboración propia en Arduino IDE

Finalmente, en la parte del bucle (void loop) se repetirán cíclicamente las funciones de llama y evasión de obstáculos, hasta el momento en que se active la señal de un sensor y el robot se ponga en marcha.

```
330 void loop ()
331 {
332   Recuadro();
333   ultrasonico();
334   bomper();
335   flama();
336 }
```

Figura 54. Funciones en el void loop ()

Fuente: elaboración propia en Arduino IDE

6.5 Pruebas de funcionamiento

Es importante recordar que el robot está diseñado para apagar el fuego en un ambiente controlado, en el cual hay condiciones muy específicas que se pueden aprovechar para mejorar su desempeño. En la *Figura 55* aparece un campo compuesto por un telón negro con líneas blancas para delimitar su espacio, esto en sí es una gran ventaja, pues los sensores infrarrojos detectores de obstáculos pueden ser configurados de manera tal que detecten el color blanco y negro.

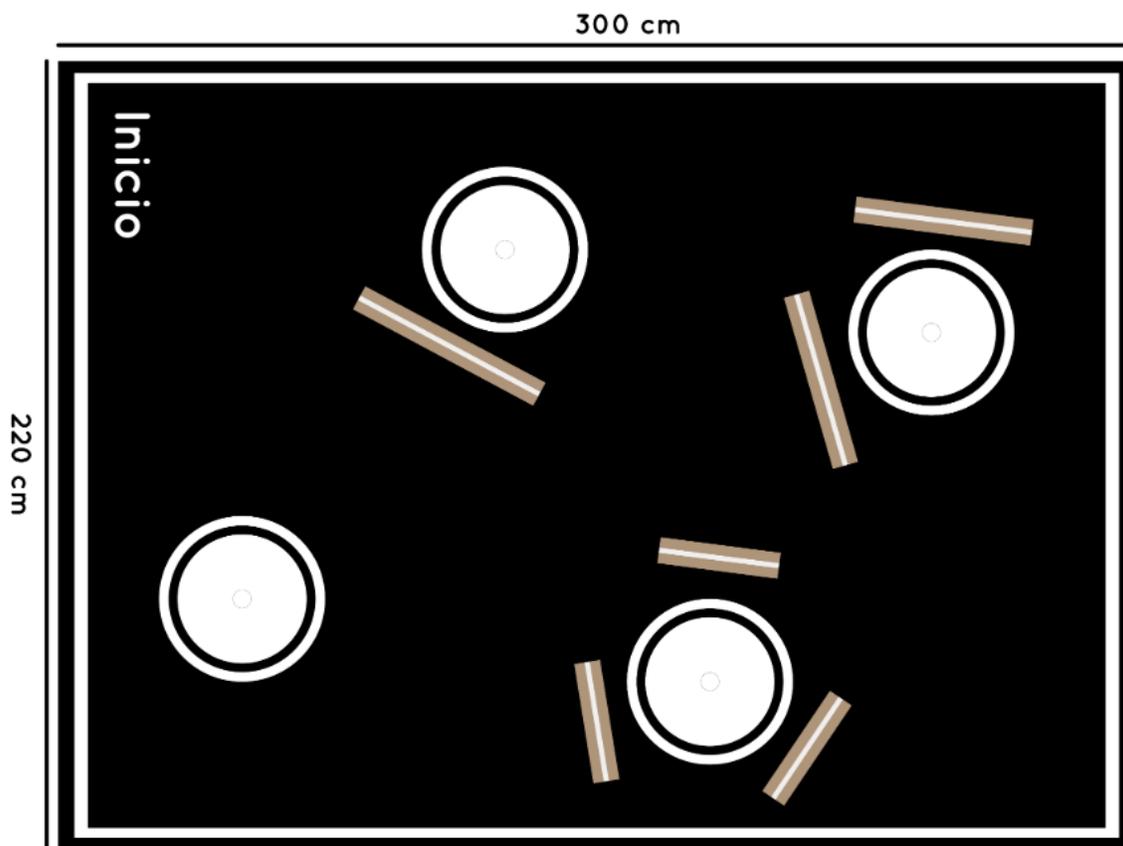


Figura 55. Campo de pruebas para apagar las llamas

Fuente: extraído de: <http://www.roborave.org/challenges>

Para simular un incendio en medio de los cuatro círculos blancos, se coloca una vela en alturas aleatorias y se cubre con paredes que el robot de manera automática debe ser capaz de esquivar. En el código el robot se configura para que haga el recuadro negro a una velocidad moderada con el objetivo de que en el momento que pase cerca de una de las velas se dirija hacia ella y active el motor brushless para apagar la llama.

Tras muchas pruebas y ajustes, el robot es capaz de apagar todas las velas en un tiempo promedio de un minuto y medio, lo que fue suficiente para llevarse la victoria en el certamen Roborave en donde se presentó el robot a competencia. Aunque este era un ambiente controlado, el robot demostró ser eficiente a pesar de tener complicaciones en su camino a la vela, esto quiere decir que realizando algunos ajustes no debería tener muchos problemas para desempeñarse en un ambiente real.

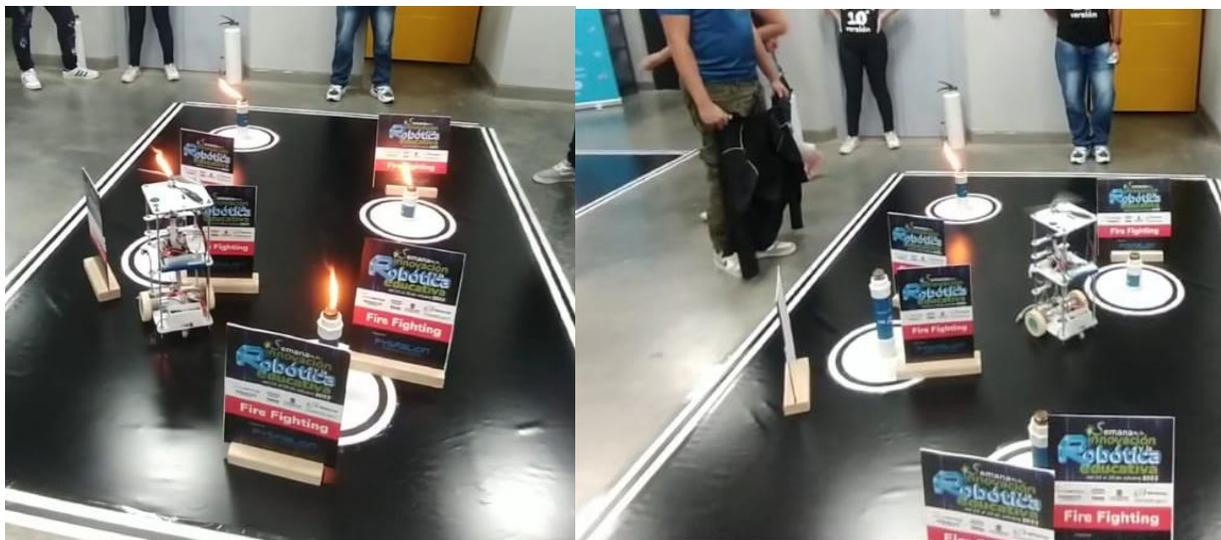


Figura 56. Evidencias del desempeño del robot
Fuente: fotografía tomada por el autor

En el siguiente enlace se puede ver un video donde el robot desarrollado se encuentra en funcionamiento https://drive.google.com/drive/folders/1khKvabHfmu2bAgl_LoBt-L3WV03I8tQ5?usp=sharing.

7. Conclusiones

Fue posible desarrollar usando las técnicas de prototipado rápido, un robot capaz de detectar y extinguir llamas de manera automática, a partir del diseño por medio de software CAD, de la estructura mecánica para un robot automática de tracción diferencial u omnidireccional, en el cual su centro de masa este en el medio para evitar que el sistema pueda perder el equilibrio y caerse, con motores de alto torque, constituyéndolo así en un sistema eficiente en un escenario de incendio. De igual forma, se logró diseñar por medio de software CAE los circuitos eléctricos y electrónicos necesarios para el control del robot automática, utilizando dispositivos que se adapten a las condiciones presentes en un escenario de fuego y conserven su funcionamiento a través del tiempo y el uso.

En la etapa de diseño del robot se planteó una estructura cuadrada con el fin de que la distribución de las cargas fuera sencilla, este sistema se desempeña muy bien y se mantiene estable a bajas velocidades, en el momento que se aumenta considerablemente su velocidad, el robot tiende a balancearse al frenar debido a su inercia. Para diseños futuros se intentará corregir este error diseñando una estructura con un punto de sustentación más amplio para resolver este problema.

Posterior a los diseños se efectuaron las implementaciones del robot bajo los parámetros establecidos con respecto a la estructura mecánica y el diseño electrónico de control general, usando técnicas de prototipado rápido mediante los equipos y herramientas que permitan el desarrollo físico del robot automática capaz de extinguir las llamas; se creó mediante un entorno de desarrollo para microcontroladores, el correcto algoritmo de control del robot automática capaz de extinguir las llamas y se efectuaron pruebas de funcionamiento en un ambiente de incendio controlado como proceso de validación al cumplimiento de los objetivos de detección y extinción de llamas por parte del robot automática.

El robot funciona con base a estímulos que se activan cuando sus sensores detectan aquello para lo que están diseñados, así que al tener tantos sensores detectando la misma variable, como en el caso de las llamas, pueden ocurrir errores de activación simultánea, ocasionando que el

robot pierda eficiencia, como solución a este problema se desactivaron 8 de sus 20 sensores de llama.

Para el diseño del cableado se utilizó cable ribbon con terminales de conexión rápida, esto resultó muy eficiente a la hora de hacer pruebas y cambiar posición de los pines, un problema que surgió fue que la vibración hacía que los cables se movieran más de lo que debían y de vez en cuando ocasionaran un falso contacto. Para diseños futuros se pretenden utilizar cables con soldadura directos desde el pin de control hasta el sensor para dar solución a este problema.

En las pruebas de funcionamiento del robot autómatas en el campo dispuesto para apagar las llamas, este alcanzó mediante rondas continuas dirigirse hacia ellas evitando los obstáculos con los que se encontraba ubicados en diferentes puntos y finalmente apagarlas con su sistema de aire propulsado.

8. Recomendaciones

La base de sustentación es muy importante en los sistemas móviles, por lo que una de mayor área con forma rectangular u octagonal es lo ideal para una aplicación de este tipo. Del mismo modo se recomienda utilizar materiales muy livianos para optimizar el rendimiento del robot y el uso de los sistemas que lo mueven.

Los motores utilizan una gran cantidad de corriente que es proporcional a la carga que estos soportan, para este caso la carga no era lo suficientemente grande para que los motores superaran un amperio de corriente, por lo que se pudo utilizar un puente H común de baja capacidad de corriente, en proyectos futuros de mayor alcance se recomienda utilizar un driver de potencia adecuado para la corriente de los motores.

Los sensores infrarrojos utilizados en este proyecto no funcionan muy bien para los ambientes exteriores, en este caso el robot se diseñó para un ambiente controlado en interior, por lo que no se consideró este problema. La luz del ambiente puede emitir radiación infrarroja al igual que las llamas, por lo que puede generar activaciones no deseadas en el sistema de sensores de fuego. Para proyectos a futuro se espera trabajar con sistemas de reconocimiento de imágenes para no tener problemas con la radiación infrarroja natural del entorno.

No siempre mas es mejor, es importante entender que, aunque un gran numero de sensores puede detectar un gran número de variables, en el momento que las detectan a la vez pueden interferir en el procesamiento del robot, lo que es contraproducente.

9. Referencias bibliográficas

- Deingenierias.com. (21 de Diciembre de 2019). *Qué es SOLIDWORKS | Para Qué sirve, Ventajas, características*. Obtenido de Deingenierias.com:
<https://deingenierias.com/software/solidworks-para-el-diseno-mecanico-electrico-y-mas/>
- AbrahamG. (20 de Mayo de 2021). *Cómo utilizar un puente H con Arduino – Control de un auto robot con L298N*. Obtenido de automatizacionparatodos.com:
<https://www.automatizacionparatodos.com/puente-h-arduino/>
- Aceromafe. (29 de Julio de 2022). *DIFERENTES MATERIALES RESISTENTES AL CALOR PARA PROCESOS DE INGENIERÍA*. Obtenido de aceromafe.com:
<https://www.aceromafe.com/materiales-resistentes-al-calor/>
- Airobot. (2023). *¿Qué es una Protoboard?* Obtenido de <https://airobot.es/>: <https://airobot.es/que-es-una-protoboard/>
- Carmenate, J. G. (2021). *Arduino IDE entorno de desarrollo oficial*. Obtenido de programarfacil.com: https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-ide/#Alternativas_a_Arduino_IDE
- cochesrc. (2023). *¿Cómo funciona un motor brushless?* Obtenido de cochesrc.online:
<https://cochesrc.online/como-funciona-un-motor-brushless/>
- Datascientest. (2 de Septiembre de 2022). *IDE : ¿Qué es un Entorno de Desarrollo Integrado?* Obtenido de datascientest.com: <https://datascientest.com/es/ide-que-es>
- Diaz Del Castillo, F. (2018). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/:
http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m9/IMPRESION%203D_UNA%20INTRODUCCION.pdf
- Digital Guide IONOS. (11 de Junio de 2018). *Arduino vs. Raspberry Pi: una comparativa*. Obtenido de ionos.es: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/arduino-vs-raspberry-pi/>
- E-Marmolejo, R. (2017). *Microcontrolador – qué es y para que sirve*. Obtenido de hetpro-store.com: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- ESPINOLA, V. (21 de 01 de 2020). *esemanal.mx*. Obtenido de <https://esemanal.mx/2020/01/solo-el-30-de-los-inmuebles-en-mexico-cuentan-con->

- sistemas-de-deteccion-de-incendio-conapci/
 Generalitat de Catalunya. (Febrero de 2012). *Visión artificial*. Obtenido de
[https://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_UD_1_DIDA
 C.pdf](https://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_UD_1_DIDA_C.pdf)
- González, V. R. (2023). *Robots móviles: diseño*. Obtenido de platea.pntic.mec.es/vgonzale:
http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/movil.htm
- Grupo OSG. (2 de JUNIO de 2021). *¿Dónde y cuándo se inventaron las cintas transportadoras?*
 Obtenido de [https://www.grupoosg.com/cintas-
 transportadoras/#:~:text=En%201901%2C%20en%20Suecia%2C%20se,cual%20transportaba%20grava%20y%20carb%C3%B3n.](https://www.grupoosg.com/cintas-transportadoras/#:~:text=En%201901%2C%20en%20Suecia%2C%20se,cual%20transportaba%20grava%20y%20carb%C3%B3n.)
- Infinitia Industrial Consulting. (22 de Enero de 2021). *El prototipado: Beneficios, fases y técnicas*. Obtenido de [infinitiaresearch.com](https://www.infinitiaresearch.com):
<https://www.infinitiaresearch.com/noticias/prototipado-definicion-fases-tecnica/>
- Ingeniería Mecafenix. (26 de Mayo de 2021). *¿Qué es un final de carrera?* Obtenido de [ingmecafenix.com](https://www.ingmecafenix.com): <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/final-de-carrera/>
- Ingeniería Mecafenix. (1 de Junio de 2021). *¿Qué es un sensor ultrasónico?* Obtenido de [ingmecafenix.com](https://www.ingmecafenix.com): <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/ultrasonico/>
- Ingeniería Mecafenix. (13 de Abril de 2023). *Que son los sensores, que tipos existen y como funcionan*. Obtenido de [ingmecafenix.com](https://www.ingmecafenix.com):
<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/guia-sensores/>
- Ingenierizando. (2022). *Condiciones de equilibrio*. Obtenido de [ingenierizando.com](https://www.ingenierizando.com):
<https://www.ingenierizando.com/dinamica/condiciones-de-equilibrio/>
- Khan academy. (2017). *¿Qué es el centro de masa?* Obtenido de [khanacademy.org](https://www.khanacademy.org):
<https://es.khanacademy.org/science/physics/linear-momentum/center-of-mass/a/what-is-center-of-mass>
- López Reveles, A. A., Romo Aréchiga, L. A., & Quiroz Tovar, M. A. (Junio de 2022). *Prototipo de robot móvil mitigador de fuegos incipientes*. Obtenido de tesis.ipn.mx:
<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/31217>
- López-prieto, J. F., QuiJano, C., Moncayo, R., Piedrahita, J., Jimenez, J., Navarro, N., & Angarita, I. (13 de Diciembre de 2015). *Diseño y prototipado de un robot explorador que*

- soporte las actividades de los bomberos*. Obtenido de revistas.eia.edu.co:
<https://revistas.eia.edu.co/index.php/mem/article/view/825>
- MAPFRE Global Risks. (2023). *La robótica emerge en la lucha contra incendios*. Obtenido de mapfreglobalrisks.com: <https://www.mapfreglobalrisks.com/gerencia-riesgos-seguros/articulos/la-robotica-emerge-en-la-lucha-contra-incendios/>
- MCI Electronics. (2023). *Arduino Mega 2560 R3*. Obtenido de mcielectronics.cl: <https://mcielectronics.cl/shop/product/arduino-mega-2560-r3-arduino-10231/?search=Mega%202560>
- Montoya, A. (2019). *¿Qué es un robot modular?* Obtenido de quora.com: <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-un-robot-modular#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20y%20la%20rob%C3%B3tica,formar%20un%20sistema%20m%C3%A1s%20complejo.>
- Moreno, E. G. (2001). *AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- MS INGENIERÍA. (13 de Octubre de 2020). *VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SOLIDWORKS* ®. Obtenido de ingenieria.com.mx: <https://www.ms-ingenieria.com.mx/dibujo/ventajas-y-desventajas-de-solidworks/>
- Muñoz, J. C. (2009). *Diseño preliminar de un robot extintor de incendios*. Finlandia: University of Technology.
- Nomdedeu, L. (2019). *MAPFRE Global Risks*. Obtenido de <https://www.mapfreglobalrisks.com/gerencia-riesgos-seguros/articulos/la-robotica-emerge-en-la-lucha-contra-incendios/>
- Pérez Carvajal, S. L. (2015). *Prototipo de robot bombero controlado a distancia mediante dispositivo móvil*. Obtenido de bibliotecadigital.usb.edu.co: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/48b0c884-2466-4e27-90a0-f073822f2d4f>
- Redacción Gestión. (11 de Noviembre de 2018). *¿Qué es la inteligencia artificial y para qué sirve?* Obtenido de <https://gestion.pe/tecnologia/inteligencia-artificial-historia-origen-funciona-aplicaciones-categorias-tipos-riesgos-nnda-nnlt-249002-noticia/>
- Revista Seguridad 360. (27 de 5 de 2022). *Sensor infrarrojo: Tipos y aplicaciones*. Obtenido de [revistaseguridad360.com: https://revistaseguridad360.com/destacados/sensor-infrarrojo/](https://revistaseguridad360.com/destacados/sensor-infrarrojo/)

- roboticoss. (28 de enero de 2021). *Modelo cinemático y simulación de un robot móvil diferencial*. Obtenido de roboticoss.com: <https://roboticoss.com/modelo-cinematico-y-simulacion-con-python-robot-movil-diferencial/>
- sdindustrial. (2022). *Motor de corriente continua*. Obtenido de sdindustrial.com: <https://sdindustrial.com.mx/blog/motor-de-corriente-continua/>
- Significados. (2023). *Equilibrio*. Obtenido de Significados.com: <https://www.significados.com/equilibrio/>
- Sirpa, E. M. (10 de Abril de 2017). *ROBOTS: MÉTODOS DE LOCOMOCIÓN TERRESTRE*. Obtenido de medium.com: <https://medium.com/@ericksirpa/robots-m%C3%A9todos-de-locomoci%C3%B3n-terrestre-2964c68a9523>
- Sucar, L. E. (2023). *Introducción a la Robótica*. Obtenido de inaoep.mx: <https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Clases-irob/ir2-locomocion.pdf>
- Tan, C. (20 de Octubre de 2022). *Jetson Nano vs Raspberry Pi 4: Las diferencias*. Obtenido de all3dp.com: <https://all3dp.com/2/raspberry-pi-vs-jetson-nano-differences/>
- triton. (2022). *¿Para qué sirve el tractor sobre orugas?* Obtenido de triton.com: <https://triton.com.pe/blog/para-que-sirve-el-tractor-sobre-orugas/>
- Vistronica. (2023). *ESC CONTROLADOR DE VELOCIDAD*. Obtenido de vistronica.com: <https://www.vistronica.com/aerodelismo/esc-controlador-de-velocidad-para-motor-brushless-30a-detail.html>
- Wang, M. (12 de Junio de 2021). *¿Cuál es la diferencia entre la placa de circuito impreso y la placa de pruebas?* . Obtenido de pcbmay.com: <https://www.pcbmay.com/es/%C2%BFCu%C3%A1-es-la-diferencia-entre-pcb-y-protoboard%3F/>
- Zamux Electrónica. (2023). *SENSOR DE LLAMA, FLAMA O FUEGO*. Obtenido de zamux.co: <https://www.zamux.co/sensor-de-llama-flama-o-fuego-sht113>

10. Bibliografía

El Blog de Leotronics. (1 de Septiembre de 2022). *Robots bomberos en defensa de los valores humanos*. Obtenido de leotronics.eu: <https://leotronics.eu/es/nuestro-blog/robots-bomberos-en-defensa-de-los-valores-humanos>

Robalino, L. E. (Agosto de 2017). *Sistema electrónico de alerta temprana para la detección de incendios en la empresa aceterm*. Obtenido de repositorio.uta.edu.ec: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26220/1/Tesis_t1295ec.pdf

11. Anexos

Anexo A. Fire Figting Challenge



RoboRAVE

—International—

Robotics Education and Competition

2022 Fire Fighting Challenge

Este reto concluye en modalidad de torneo con retos individuales - Los 8 mejores equipos de la etapa clasificatoria deberán competir entre ellos dependiendo del puntaje obtenido en la ronda de clasificación. Este torneo permitirá premiar el 1er, 2do y 3er lugar del reto Fire Fighting 2022.

Objetivo

Diseñar, construir y programar un robot que pueda localizar y extinguir sin tocar 4 velas colocadas al azar dentro de un campo delineado por una línea blanca y negra.

¿Quiénes participan?

Equipos de **2 a 4 participantes** en una **única división** para:

- Única categoría (Juvenil - JV y Senior - SN)

Requerimientos

Un robot autónomo, **cualquier plataforma:**

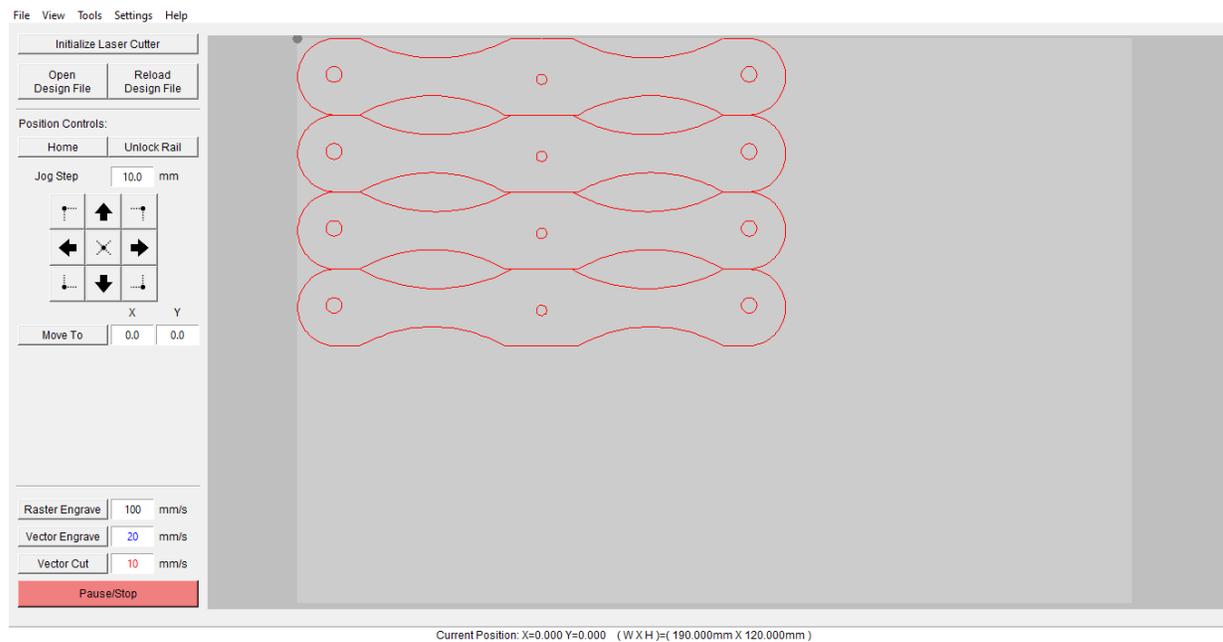
La base del robot participante no puede superar los 30cm x 30cm de área

El Robot **no** puede exceder 65030 cm cúbicos. [¡Mira el siguiente vídeo!](#)

Se permiten múltiples sensores, procesadores, actuadores y ventiladores.

¡ATENCIÓN! Todos los reglamentos podrán ser modificados o aclarados hasta antes del 21 de septiembre.

Anexo B. Software de la cortadora laser K40 Whisperer



Anexo C. Código completo para el control del robot

//Pestaña de funciones para el movimiento

```

int acelerar = 110;
int acelerard = 110;
int acelerari = 110;
void Adelante ()
{
  //Direccion motor A
  digitalWrite (IN1, 1);
  digitalWrite (IN2, 0);
  analogWrite (ENA, acelerard); //Velocidad motor A
  //Direccion motor B
  digitalWrite (IN3, 1);
  digitalWrite (IN4, 0);
  analogWrite (ENB, acelerari); //Velocidad motor B
}
void Atras ()
{
  //Direccion motor A
  digitalWrite (IN1, 0);
  digitalWrite (IN2, 1);
  analogWrite (ENA, 100); //Velocidad motor A
  //Direccion motor B
  digitalWrite (IN3, 0);
  digitalWrite (IN4, 1);
  analogWrite (ENB, 100); //Velocidad motor B
}

void Derecha ()
{
  //Direccion motor A
  digitalWrite (IN1, HIGH);
  digitalWrite (IN2, LOW);
  analogWrite (ENA, acelerard); //Velocidad motor A
  //Direccion motor B
  digitalWrite (IN3, LOW);
  digitalWrite (IN4, HIGH);
  analogWrite (ENB, acelerari); //Velocidad motor A
}
void Izquierda ()
{
  //Direccion motor A
  digitalWrite (IN1, LOW);
  digitalWrite (IN2, HIGH);
  analogWrite (ENA, acelerard); //Velocidad motor A

```

```

//Direccion motor B
digitalWrite (IN3, HIGH);
digitalWrite (IN4, LOW);
analogWrite (ENB, acelerari); //Velocidad motor A
}
void Parar ()
{
//Direccion motor A
digitalWrite (IN1, LOW);
digitalWrite (IN2, LOW);
analogWrite (ENA, 0); //Velocidad motor A
//Direccion motor B
digitalWrite (IN3, LOW);
digitalWrite (IN4, LOW);
analogWrite (ENB, 0); //Velocidad motor A
}

```

//Pestaña del código en general

```

#include <Ultrasonic.h>
#include <Servo.h>
// motor brusless
Servo ESC; //Crear un objeto de clase servo
int vel = 1500; //amplitud del pulso
// sensor de flama central
const int cd1 = 30; // the number of the pushbutton pin
const int cd2 = 31; // the number of the pushbutton pin
const int cd3 = 40; // the number of the pushbutton pin
const int cd4 = 41; // the number of the pushbutton pin
const int cd5 = 12; // the number of the pushbutton pin
// sensor de flama derecho
const int dd1 = 26; // the number of the pushbutton pin
const int dd2 = 27; // the number of the pushbutton pin
const int dd3 = 26; // the number of the pushbutton pin
const int dd4 = 37; // the number of the pushbutton pin
const int dd5 = 12; // the number of the pushbutton pin
// sensor de flama izquierdo
const int id1 = 34; // the number of the pushbutton pin
const int id2 = 35; // the number of the pushbutton pin
const int id3 = 44; // the number of the pushbutton pin
const int id4 = 45; // the number of the pushbutton pin
const int id5 = 12; // the number of the pushbutton pin
//motor ventilador
const int ventilador = 3; // the number of the pushbutton pin
//Sensores ultrasonico
Ultrasonic ultrasonic(52,53); // (Trig PIN,Echo PIN)
Ultrasonic ultrasonicd(24,25); //ultrasonico derecho

```

```

Ultrasonic ultrasonici(22,23);//ultrasonico derecho
// Motor A
int ENA = 5;
int IN1 = 6;
int IN2 = 7;
// Motor B
int ENB = 10;
int IN3 = 8;
int IN4 = 9;
//Sensores bomper
int bompdere = 51;
int bompizq = 50;
//Sensores de recuadro
int RecIzq = 49;
int RecDer = 48;

void setup ()
{
ESC.attach(3); // puerto del motor brusless
//ESC.writeMicroseconds(2000); //1000 = 1ms
//delay(1000); //Esperar 5 segundos para hacer la activacion
ESC.writeMicroseconds(1000); //Generar un pulso con el numero recibido
//Cambia el 1000 anterior por 2000 si
//tu ESC se activa con un pulso de 2ms
delay(1000); //Esperar 5 segundos para hacer la activacion
//sensor central
pinMode(cd1, INPUT);
pinMode(cd2, INPUT);
pinMode(cd3, INPUT);
pinMode(cd4, INPUT);
pinMode(cd5, INPUT);
//sensor derecho
pinMode(dd1, INPUT);
pinMode(dd2, INPUT);
pinMode(dd3, INPUT);
pinMode(dd4, INPUT);
pinMode(dd5, INPUT);
//sensor izquierdo
pinMode(id1, INPUT);
pinMode(id2, INPUT);
pinMode(id3, INPUT);
pinMode(id4, INPUT);
pinMode(id5, INPUT);
//ventilador
pinMode (ventilador, OUTPUT);
digitalWrite (ventilador,HIGH);

```

```

// Declaramos todos los pines
pinMode (ENA, OUTPUT);
pinMode (ENB, OUTPUT);
pinMode (IN1, OUTPUT);
pinMode (IN2, OUTPUT);
pinMode (IN3, OUTPUT);
pinMode (IN4, OUTPUT);
pinMode (RecDer,INPUT);
pinMode (RecIzq,INPUT);
pinMode (bompdere,INPUT);
pinMode (bompizq,INPUT);
Serial.begin(9600);
}
void Recuadro()
{
int sender =digitalRead(RecDer);
int senizq =digitalRead(RecIzq);
//Serial.println(senizq);
if((sender == 1)&&(senizq == 1))
{
  Adelante();
}
else
{
  compara1:
  sender =digitalRead(RecDer);
  if(sender == 0)
  {
    Izquierda();
    //DETECTA ALGUNA VELA?
    if((digitalRead(cd5))||(digitalRead(cd4))||(digitalRead(cd3))||(digitalRead(cd2))||(digitalRead(cd1))
    )||(digitalRead(dd5))||(digitalRead(dd4))||(digitalRead(dd3))||(digitalRead(dd2))||(digitalRead(dd1))
    )||(digitalRead(id5))||(digitalRead(id4))||(digitalRead(id3))||(digitalRead(id2))||(digitalRead(id1))
    ))
    {
      goto salir1;
    }
    goto compara1;
  }
  else
  {
    compara2:
    senizq =digitalRead(RecIzq);
    if(senizq == 0)
    {
      //DETECTA ALGUNA VELA?

```

```

if((digitalRead(cd5))||(digitalRead(cd4))||(digitalRead(cd3))||(digitalRead(cd2))||(digitalRead(cd1
))||(digitalRead(dd5))||(digitalRead(dd4))||(digitalRead(dd3))||(digitalRead(dd2))||(digitalRead(dd
1))||(digitalRead(id5))||(digitalRead(id4))||(digitalRead(id3))||(digitalRead(id2))||(digitalRead(id1)
))
{
  goto salir1;
}
  Derecha();
  delay(200);
  if(digitalRead(cd3))
  {
    goto salir1;
  }
    goto compara2;

  }
}
}
salir1:
delay(1);
}
void ultrasonico()
{
  //sensor central
  int ultracentro = ultrasonic.Ranging(CM);
  if(ultracentro<15)
  {
    Derecha();
    delay(100);
  }
  //sensor derecho
  int ultraderecho = ultrasonico.Ranging(CM);
  if(ultraderecho<15)
  {
    Derecha();
    delay(100);
  }
  //sensor izquierdo
  int ultraizquierdo = ultrasonico.Ranging(CM);
  if(ultraizquierdo<15)
  {
    Izquierda();
    delay(100);
  }
}
void bomper()

```

```

{
  int bd =digitalRead(bompdere);
  int bi =digitalRead(bompizq);
  // Serial.println(bd);
  if(bd==1)
  {
    Parar();
    // ESC.writeMicroseconds(vel); //Generar un pulso con el numero recibido
    //delay(1000);
    //ESC.writeMicroseconds(1000); //Generar un pulso con el numero recibido
    Atras();
    delay(500);
    Izquierda();
    delay(300);
  }
  if(bi==1)
  {
    Parar();
    //ESC.writeMicroseconds(vel); //Generar un pulso con el numero recibido
    //delay(1000);
    //ESC.writeMicroseconds(1000); //Generar un pulso con el numero recibido
    Atras();
    delay(500);
    Derecha();
    delay(300);
  }
}
}
void flama()
{
  // //DETECTA ALGUNA VELA?
  apagar:
  if(((digitalRead(cd5))||(digitalRead(cd4))||(digitalRead(cd3))||(digitalRead(cd2))||(digitalRead(cd1
  ))||(digitalRead(dd5))||(digitalRead(dd4))||(digitalRead(dd3))||(digitalRead(dd2))||(digitalRead(dd
  1))||(digitalRead(id5))||(digitalRead(id4))||(digitalRead(id3))||(digitalRead(id2))||(digitalRead(id1
  )))
  {
    int sender =digitalRead(RecDer);
    int senizq =digitalRead(RecIzq);
    if((sender==0)||(senizq==0))
    {
      if(((digitalRead(cd4))||(digitalRead(cd3))||(digitalRead(cd2))||
      (digitalRead(dd4))||(digitalRead(dd3))||(digitalRead(dd2))||(digitalRead(id4))||(digitalRead(id3))||
      (digitalRead(id2))))
      {
        ESC.writeMicroseconds(vel); //Generar un pulso con el numero recibido
        Adelante();
      }
    }
  }
}

```

```

    delay(150
    );
    Parar();
    delay(200);
    Derecha();
    delay(500);
    Izquierda();
    delay(1000);
    Derecha();
    delay(500);
    ESC.writeMicroseconds(1000); //Generar un pulso con el numero recibido
    Atras();
    delay(1500);
}
}
if((digitalRead(id2))||(digitalRead(id3))||(digitalRead(id1))||(digitalRead(id4)))
{
    int contador=0;
    do{
        //hhhhhhhhhhhh DETECTA BOMPER Y FLAMA? hhhhhhhhhhhhhhhhhhh
        int bd =digitalRead(bompdere);
        int bi =digitalRead(bompizq);
        if((bd==1)||(bi==1))
        {
            Adelante();
            delay(500); //100
        }
        contador=contador+1;
        Izquierda();
        delay(100); //100
        Adelante();
        delay(100); //100
        if(contador>50)
        {
            Adelante();
            delay(500); //100
            break;
        }
    }while(!((digitalRead(cd1))||(digitalRead(cd2))||(digitalRead(cd3))||(digitalRead(cd4))));
    Parar();
    delay(50); //100
}
if((digitalRead(dd1))||(digitalRead(dd2))||(digitalRead(dd3))||(digitalRead(dd4)))
{
    int contador=0;
    do{

```

```

//hhhhhhhhhhhh DETECTA BOMPER Y FLAMA? hhhhhhhhhhhhhhhhhhh
int bd =digitalRead(bompdere);
int bi =digitalRead(bompizq);
if((bd==1)||(bi==1))
{
  Adelante();
  delay(500); //100
}
contador=contador+1;
Derecha();
delay(100); //100
Adelante();
delay(100); //100
if(contador>50)
{
  Adelante();
  delay(500); //100
  break;
}
}while(!((digitalRead(cd1))||(digitalRead(cd2))||(digitalRead(cd3))||(digitalRead(cd4))));
Parar();
delay(50); //100
}
}
//else{
//digitalWrite (ventilador, HIGH);
//}
}
void loop ()
{
  Recuadro();
  ultrasonico();
  bomper();
  flama();
}

```