

**Carro robótico para supervisar pruebas de presión y medición de gases en espacios  
confinados**

Juan Camilo Montealegre Vanegas

Edwin Arley Trujillo Trujillo

Jhon Alexander Coronado Ramírez

Asesor

Mg. Pedro Torres Silva

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

## **Agradecimientos**

El equipo de investigación expresa su más sincero agradecimiento a todos quienes acompañaron y apoyaron este viaje, permitiendo llevarlo a un feliz término.

A nuestras familias, su paciencia, comprensión y constante motivación fueron el motor que nos impulsó a superar cada desafío. Su apoyo incondicional, a pesar de las largas horas de trabajo y dedicación, fue fundamental para perseverar hasta el final.

A nuestros docentes y asesor académico: Pedro Torres Silva, su invaluable conocimiento, guía experta y paciencia fueron esenciales para el desarrollo de este estudio. Sus enseñanzas no solo nos proporcionaron las herramientas técnicas y metodológicas necesarias, sino que también nos inspiraron a pensar de manera crítica e innovadora. Agradecemos profundamente el tiempo y la dedicación brindada

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por proporcionarnos el espacio, los recursos académicos y el ambiente propicio para la investigación.

De manera muy especial, queremos agradecer a la empresa Maxim Fishing S.A.S., por su confianza, apertura y colaboración. Su disposición para compartir sus necesidades, experiencia en campo y permitirnos trabajar en un contexto real fue crucial para la pertinencia y el éxito de la propuesta.

Este logro es un testimonio del trabajo en equipo, la colaboración y el compromiso de todos.

Gracias por ser parte fundamental de este camino.

Atentamente, Edwin, John y Juan Camilo.

## Resumen

El proyecto de grado “Carro robótico para supervisar pruebas de presión y medición de gases en espacios confinados” se enfoca en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema robótico teledirigido para la monitorización remota de entornos industriales. La iniciativa está orientada a satisfacer la necesidad de Maxim Fishing, que requieren realizar mediciones de gases y pruebas de presión en espacios confinados, reduciendo así los riesgos laborales y protegiendo la integridad de sus instalaciones. La problemática central planteada por este estudio, radica en la falta de métodos eficientes y seguros para vigilar en tiempo real las condiciones en áreas de alto riesgo, lo que puede provocar accidentes y daños operativos de diferentes magnitudes. Para resolver esta situación, el proyecto parte de un análisis exhaustivo de requerimientos y de la revisión del estado del arte en robótica, ingeniería mecánica y electrónica, y sistemas de comunicación remota. El diseño conceptual integra un sistema mecánico y electrónico robusto, combinando sensores avanzados para la detección de gases y medición de presión, un controlador basado en Arduino y módulos de comunicación inalámbrica (NRF24L01) que permiten el manejo teledirigido del vehículo. La metodología adoptada abarca desde la investigación y el diseño del prototipo, hasta su desarrollo, pruebas en condiciones simuladas y reales, y posterior optimización para garantizar su desempeño y seguridad operativa. Además de mejorar la seguridad en el entorno laboral, la solución propuesta se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible, promoviendo la innovación y la modernización de infraestructuras en la industria. Los resultados preliminares evidenciaron un avance significativo en la integración de tecnologías que permiten una supervisión más precisa y eficiente de los procesos industriales, demostrando la viabilidad de implementar sistemas robóticos en áreas de alto riesgo.

**Palabras clave:** Robótica, Sensores, Monitoreo, Seguridad Industrial, Innovación.

### **Abstract**

The degree project "Robotic Cart for Supervising Pressure Tests and Gas Measurement in Confined Spaces," developed at the National Open and Distance University, focuses on the design, development, and implementation of a remotely controlled robotic system for remote monitoring of industrial environments. The initiative is aimed at meeting the needs of companies like Maxim Fishing, which require gas measurements and pressure tests in confined spaces, thereby reducing occupational hazards and protecting the integrity of their facilities. The central problem posed by this study lies in the lack of efficient and safe methods for real-time monitoring of conditions in high-risk areas, which can lead to accidents and operational damage of varying magnitude. To address this situation, the Project is based on an exhaustive analysis of requirements and a review of the state of the art in robotics, mechanical and electronic engineering, and remote communication systems. The conceptual design integrates a robust mechanical and electronic system, combining advanced sensors for gas detection and pressure measurement, an Arduino-based controller, and wireless communication modules (NRF24L01) that enable remote control of the vehicle. The methodology adopted ranges from prototype research and design to its development, testing in simulated and real-life conditions, and subsequent optimization to ensure performance and operational safety. In addition to improving workplace safety, the proposed solution aligns with the Sustainable Development Goals, promoting innovation and infrastructure modernization in the industry. Preliminary results show significant progress in the integration of technologies that enable more precise and efficient monitoring of industrial processes, demonstrating the feasibility of implementing robotic systems in high-risk areas.

**Key words:** Robotics, Sensors, Monitoring, Industrial Safety, Innovation.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	14
Planteamiento del Problema.....	18
Pregunta de Investigación .....	19
Justificación.....	20
Objetivos .....	23
Objetivo General .....	23
Objetivos Específicos .....	23
Marco Conceptual .....	24
Robótica Móvil .....	24
Ingeniería Mecánica y Electrónica .....	26
Sensores y Sistemas de Medición .....	28
Comunicaciones y Telemetría.....	29
Seguridad en el Trabajo y Normativas .....	30
Marco Legal y Normativo.....	32
Normativas de Seguridad en el Trabajo .....	32
Normas sobre Detección de Gases y Presión .....	32
Normativas sobre Robótica y Telecomunicaciones.....	33
Normativas Ambientales .....	33
Normativa en Innovación y Desarrollo Tecnológico .....	34
Marco Tecnológico .....	35
Robótica Móvil .....	35
Sensores y Sistemas de Medición .....	36

Sistemas de Comunicación y Telemetría .....	36
Sistemas de Control y Procesamiento .....	37
Alimentación y Autonomía .....	37
Seguridad y Protección del Sistema .....	37
Marco Contextual .....	39
Contexto General .....	39
Información Detallada de la Organización.....	40
Contexto Industrial .....	41
Contexto Tecnológico .....	42
Contexto Social y Laboral.....	42
Contexto Académico y de Investigación.....	42
Metodología .....	44
Análisis de Requerimientos.....	44
Investigación y Estado del Arte .....	46
Diseño Conceptual .....	52
Arquitectura General del Sistema .....	52
Componentes Principales y su Interconexión .....	53
Interconexión General.....	56
Desarrollo y Prototipado .....	57
Pruebas y Evaluación .....	59
Lectura de Gases en Entornos Simulados .....	59
Verificación del Monitoreo de las Pruebas de Presión en Pruebas Prácticas.....	59
Optimización y Ajustes .....	60

Desarrollo Ingenieril .....	63
Diseño Estructural .....	63
Diseño del Circuito de Carga por Batería .....	66
Selección de la Frecuencia de Conmutación (f).....	68
Cálculo de la Inductancia (L) .....	68
Cálculo del Condensador de Salida (Cout) .....	69
Selección del Condensador de Entrada (Cin).....	70
Resistencia de Retroalimentación (R1 y R2) .....	70
Cálculo del Ciclo de Trabajo (D) .....	71
Selección de la Frecuencia de Conmutación (f):.....	72
Cálculo de la Inductancia (L) .....	72
Cálculo del Condensador de Salida (Cout) .....	74
Selección del Condensador de Entrada (Cin).....	75
Resistencia de Retroalimentación (R1 y R2) .....	76
Diseño del Circuito de Carga – Bloque 3.....	77
Análisis Teórico del Bloque 3.....	78
Sección del Amplificador Operacional U2: .....	78
Diseño del Circuito de Carga .....	80
Prueba de Carga de las Baterías .....	81
Sistema de Control .....	84
Descripción General del Circuito .....	85
Análisis Eléctrico y Matemático .....	86
Código Fuente Control Transmisor.....	91

Análisis Técnico y Funcional del Circuito Electrónico Receptor con Arduino Mega y NRF24L01	94
.....	94
Descripción del Circuito.....	95
Análisis Eléctrico y Funcional .....	96
Control de Relés.....	97
Control de Motores .....	99
Código Fuente Receptor (Arduino Mega).....	100
Interpretación Matemática.....	105
Recolección de Información.....	106
Sensores Usados en el Carro Robótico .....	107
Especificaciones Técnicas Comparadas.....	107
Acondicionamiento de Señal para ESP32.....	108
Calibración MQ-136 (H <sub>2</sub> S).....	110
Datos Experimentales.....	114
Comportamiento R <sub>s</sub> vs H <sub>2</sub> S.....	116
Calibración MQ-7(CO) .....	120
Calibración MQ-2(CH <sub>4</sub> ) .....	127
Calcular R <sub>o</sub> Usando Gas Patrón.....	129
Prueba de Distancia.....	136
Metodología .....	136
Condiciones de Prueba.....	136
Resultados Observados .....	137
Descripción del Sistema.....	139

Subsistema Transmisor .....	140
Subsistema Receptor .....	141
Sistema de Comunicación Inalámbrica .....	142
Sistema de Control y Navegación .....	143
Conclusiones .....	144
Recomendaciones .....	148
Referencias Bibliográficas.....	150

### Lista de figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Diseño Isométrico Por Partes Del Prototipo Robótico.....</i>	63
<b>Figura 2</b>	<i>Diseño Isométrico Por Partes Del Prototipo Robótico.....</i>	64
<b>Figura 3</b>	<i>Vistas Ortogonales Del Prototipo Robótico.....</i>	65
<b>Figura 4</b>	<i>Vistas Ortogonales Del Prototipo Robótico.....</i>	66
<b>Figura 5</b>	<i>Diseño Del Circuito De Carga Bloque 1 .....</i>	67
<b>Figura 6</b>	<i>Diseño Del Circuito De Carga Bloque 2 .....</i>	71
<b>Figura 7</b>	<i>Diseño Del Circuito De Carga Bloque 3 .....</i>	77
<b>Figura 8</b>	<i>Diseño Del Circuito De Carga Bloque Completo.....</i>	80
<b>Figura 9</b>	<i>Diseño 3D Circuito Electrónico De Carga.....</i>	81
<b>Figura 10</b>	<i>Gráfica de Comportamiento Del Algoritmo De Carga de Las Baterías.....</i>	82
<b>Figura 11</b>	<i>Diagrama Electrónico Del Sistema de Control.....</i>	84
<b>Figura 12</b>	<i>Sistema de Control 3D.....</i>	85
<b>Figura 13</b>	<i>Circuito Electrónico Receptor 3D.....</i>	95
<b>Figura 14</b>	<i>Diagrama Electrónico Del Relé. ....</i>	98
<b>Figura 15</b>	<i>Circuito Electrónico de Acondicionamiento.....</i>	108
<b>Figura 16</b>	<i>Gráfico RS/RO.....</i>	112
<b>Figura 17</b>	<i>Representación de la Tabla Anterior .....</i>	114
<b>Figura 18</b>	<i>Representación Gráfica del Comportamiento Rs vs H2S.....</i>	116
<b>Figura 19</b>	<i>Representación Gráfica ADC vs La exposición de Gas H2S.....</i>	118
<b>Figura 20</b>	<i>Representación Gráfica (ppm) de Gas H<sub>2</sub>S. ....</i>	120
<b>Figura 21</b>	<i>Representación Gráfica del Modelo Matemático de Calibración.....</i>	121
<b>Figura 22</b>	<i>Comportamiento Rs vs CO.....</i>	124

<b>Figura 23</b>	<i>Representación Gráfica ADC vs CO Patrón</i> .....	126
<b>Figura 24</b>	<i>Representación Gráfica de ADC, CO Patrón, CO Calibrado, CO Lectura ESP32</i>	127
<b>Figura 25</b>	<i>Representación Gráfica de la Tabla Anterior</i> .....	129
<b>Figura 26</b>	<i>Gráfico del sensor MQ-2 Expuesto al Metano y Lecturas del ESP32</i> .....	133
<b>Figura 27</b>	<i>Distancia Máxima Alcanzada</i> .....	138

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Relación Del Proceso De Carga De Las Baterías</i> .....	82
<b>Tabla 2</b>	<i>Datos de Especificaciones Técnicas</i> .....	108
<b>Tabla 3</b>	<i>Datos de la ficha Técnica del Sensor</i> .....	110
<b>Tabla 4</b>	<i>Tabla Logarítmica</i> .....	112
<b>Tabla 5</b>	<i>Datos Experimentales del Sensor</i> .....	115
<b>Tabla 6</b>	<i>Tabla ADC vs La Exposición de Gas H<sub>2</sub>S</i> .....	117
<b>Tabla 7</b>	<i>Tabla (ppm) de Gas H<sub>2</sub>S</i> .....	118
<b>Tabla 8</b>	<i>Tabla de Datos de la Curva</i> .....	121
<b>Tabla 9</b>	<i>Datos Experimentales del Sensor</i> .....	123
<b>Tabla 10</b>	<i>Tabla de Valores Calculados ADC vs CO Patrón</i> .....	124
<b>Tabla 11</b>	<i>Tabla de Datos Comparativa ADC, CO Patrón, CO Calibrado, ESP32</i> .....	126
<b>Tabla 12</b>	<i>Tabla de Datos desde su Ficha Técnica</i> .....	128
<b>Tabla 13</b>	<i>Datos del Sensor MQ-2 Expuesto al Metano y Lecturas del ESP32</i> .....	131

### **Lista de Apéndices**

<b>Apéndice A</b> <i>Fotografía Externa del Carro Robótico</i> .....	154
<b>Apéndice B</b> <i>Fotografía de la Interfas de Carga del Carro Robotico</i> .....	155
<b>Apéndice C</b> <i>Fotografía del Circuito Electrico y Electrónico Interno del Carro Robótico</i> .....	156

## Introducción

El trabajo en espacios confinados representa una de las actividades más peligrosas y reguladas en diversas industrias, desde la petroquímica y la minería hasta el saneamiento y la construcción. Estos entornos, caracterizados por su limitado acceso y ventilación natural, la potencial acumulación de atmósferas peligrosas (deficiencia o exceso de oxígeno, gases tóxicos o inflamables) y la dificultad para la entrada y salida de personal, exponen a los trabajadores a riesgos críticos que pueden resultar en lesiones graves o en el peor de los casos, fatales. Las normativas de seguridad laboral a nivel global, como las establecidas por la *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) en Estados Unidos o las regulaciones específicas en países latinoamericanos como Colombia, subrayan la obligatoriedad de llevar a cabo evaluaciones exhaustivas del ambiente antes y durante cualquier intervención humana en estos espacios. Fundamentalmente, esto incluye la realización de pruebas de presión en sistemas de tuberías o recipientes, y la medición constante de la composición atmosférica para detectar la presencia de gases nocivos o niveles de oxígeno anómalos.

Tradicionalmente, estas tareas de supervisión y medición se han realizado de forma manual, implicando la entrada de personal cualificado o el uso de equipos portátiles manipulados a distancia, pero aún limitados en su alcance y capacidad de operación continua. Los desafíos asociados con estos métodos son múltiples y significativos. La exposición humana, incluso por breves periodos, a un entorno potencialmente hostil, siempre conlleva un riesgo inherente. La precisión de las mediciones puede verse comprometida por factores como la fatiga del operario, la dificultad para acceder a puntos específicos dentro del espacio confinado, o la intermitencia en el monitoreo. Además, la respuesta ante una emergencia es intrínsecamente más lenta cuando se

depende de la intervención humana directa. Estas limitaciones no solo incrementan la vulnerabilidad de los trabajadores, sino que también pueden ralentizar las operaciones, generar costos adicionales por demoras y, en última instancia, comprometer la integridad de la infraestructura. La necesidad de una solución que mitigue estos riesgos y optimice los procesos de seguridad se ha vuelto una prioridad imperante en el ámbito de la ingeniería de seguridad y la salud ocupacional.

El avance exponencial de la robótica y las tecnologías de sensórica ofrece una ventana de oportunidad sin precedentes para transformar la gestión de la seguridad en espacios confinados. La automatización de tareas peligrosas no es solo una tendencia tecnológica; es una evolución lógica y necesaria para proteger la vida humana y mejorar la eficiencia operativa. Un carro robótico, diseñado específicamente para operar en estas condiciones restrictivas, surge como una respuesta innovadora a los desafíos previamente identificados. Este estudio se propone abordar la brecha existente entre la crítica necesidad de monitoreo seguro y continuo en ambientes confinados y las soluciones actualmente disponibles, que a menudo son insuficientes para proporcionar una cobertura integral y reducir al mínimo la exposición humana.

La pertinencia de este proyecto radica en la potencial capacidad de un sistema robótico para ejecutar de forma autónoma o semiautónoma las tareas de supervisión de pruebas de presión y medición de gases, eliminando la necesidad de que el personal ingrese a zonas de alto riesgo. En ese orden de ideas, un robot puede operar en condiciones atmosféricas que serían letales para un ser humano, proporcionar datos en tiempo real de manera continua, acceder a áreas de difícil alcance y resistir ambientes que comprometerían la funcionalidad de equipos manuales.

El proyecto se propone abordar la necesidad de Maxim Fishing de realizar mediciones de

gases en espacios confinados y monitorear pruebas de presión a distancia. Esta necesidad surge debido a la falta de un método efectivo y seguro para llevar a cabo estas tareas, lo que representa un riesgo tanto para la seguridad del personal como para la integridad de las instalaciones. La magnitud del problema se evidencia en la ausencia de un sistema adecuado que permita realizar mediciones precisas de gases y monitorear pruebas de presión de manera eficiente, lo que podría resultar en accidentes laborales o daños a las infraestructuras.

La pregunta de investigación desarrollada por el presente estudio, se estructuró de la siguiente manera: ¿Cómo se puede desarrollar un sistema robótico que permita realizar mediciones de gases en espacios confinados y monitorear pruebas de presión a distancia, ayudando a garantizar la seguridad del personal y la integridad de las instalaciones de la empresa Maxim Fishing?

Los indicadores cuantificables de la situación actual incluyen la frecuencia de incidentes relacionados con la manipulación de gases y pruebas de presión, así como el tiempo y los recursos dedicados actualmente a estas actividades. La falta de un método seguro y eficiente para realizar estas tareas también se refleja en los costos asociados a posibles daños a la infraestructura y la salud del personal.

En las secciones subsiguientes, se abordará el horizonte investigativo, el marco teórico que sustenta la tecnología robótica y de sensorica aplicada, la metodología de diseño que incluye la selección de componentes y la arquitectura del sistema, la implementación del prototipo, y las pruebas de validación realizadas para determinar su eficacia y fiabilidad en un entorno simulado de espacio confinado. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, se discuten las implicaciones de este trabajo y se exponen las conclusiones y futuras líneas de investigación que

este carro robótico podría abrir en el campo de la seguridad industrial. Para claridad del lector, se precisa que este proyecto aspira a ser un paso significativo hacia un futuro donde la seguridad en espacios confinados sea garantizada por la tecnología, protegiendo así el recurso más valioso: la vida humana.

## **Planteamiento del Problema**

El presente proyecto surge como una respuesta directa a una necesidad crítica de Maxim Fishing S.A.S. en Neiva, Huila: la ausencia de un método estratégico, seguro y eficiente para llevar a cabo mediciones de gases en espacios confinados y monitorear pruebas de presión de forma remota. Esta deficiencia operativa expone a la empresa a riesgos significativos tanto para la seguridad de su personal como para la integridad de sus instalaciones, siendo estos elementos vitales en la delicada industria de hidrocarburos.

Actualmente, la carencia de un sistema adecuado que permita realizar mediciones de gases con precisión y supervisar las pruebas de presión de manera eficiente se traduce en una vulnerabilidad latente, esta situación podría conducir a incidentes laborales de gravedad o a daños considerables en la infraestructura, generando interrupciones operativas y pérdidas económicas. La exposición directa del personal a atmósferas potencialmente tóxicas o explosivas durante estas tareas manuales representa un riesgo inaceptable en el contexto de las estrictas normativas de seguridad del sector.

Los indicadores que reflejan la magnitud de este problema incluyen la frecuencia de incidentes o cuasi-incidentes relacionados con la manipulación manual de gases y la supervisión presencial de pruebas de presión, lo que evidencia la peligrosidad inherente de los métodos manuales actuales. Asimismo, el tiempo y los recursos económicos y humanos dedicados a estas actividades podrían optimizarse significativamente con una solución automatizada y remota. También se consideran los costos asociados a posibles daños a la infraestructura derivados de una detección tardía de anomalías en las pruebas de presión o de la exposición a gases, sin olvidar el impacto potencial en la salud y la seguridad del personal, un costo intangible pero

invaluable que se busca eliminar.

En esencia, la falta de una solución tecnológica avanzada para estas operaciones críticas obliga a Maxim Fishing S.A.S. a operar con un margen de riesgo superior al deseado, afectando directamente su eficiencia, seguridad y cumplimiento de estándares. Este proyecto busca mitigar dicho riesgo y optimizar los procesos, proveyendo una herramienta tecnológica innovadora que salvaguarde tanto al capital humano como el equipamiento y las instalaciones de la empresa en mención.

A partir de lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

### **Pregunta de Investigación**

¿Cómo se puede desarrollar un sistema robótico que permite realizar mediciones de gases en espacios confinados y monitorear pruebas de presión a distancia, garantizando la seguridad del personal y la integridad de los equipos y las instalaciones de la empresa Maxim Fishing S.A.S.?

## **Justificación**

El presente proyecto diseñado para la empresa Maxim Fishing ubicada en la ciudad de Neiva, Huila, se concibe como una respuesta estratégica e imperativa a una de las vulnerabilidades más críticas y persistentes en el ámbito de la seguridad industrial: el riesgo inherente a la vida y la salud del personal que actualmente supervisa de forma manual las pruebas de presión y realiza el análisis atmosférico en espacios confinados. Estos entornos, caracterizados por su limitado acceso, ventilación deficiente y la potencial presencia de atmósferas inflamables, tóxicas o con niveles críticos de oxígeno, representan en la actualidad un desafío constante que no puede ser abordado con métodos que impliquen contacto humano directo sin comprometer la integridad física y mental de los trabajadores. La dependencia actual de la presencia humana en estas fases críticas de supervisión genera un margen de riesgo inaceptable, haciendo que la propuesta de un carro robótico no sea solo una mejora, sino una transformación fundamental para la eliminación de la exposición directa a estas condiciones peligrosas. La relevancia de esta iniciativa, por lo tanto, se despliega en múltiples dimensiones que abarcan lo académico, lo social, lo económico y lo personal, todas ellas convergentemente esenciales para el desarrollo sostenible y seguro de la actividad industrial.

Desde una perspectiva académica y de innovación tecnológica, este proyecto trasciende la mera aplicación de conocimientos para convertirse en una valiosa oportunidad de investigación y desarrollo aplicada. Representa un avance significativo donde se integran y validan principios complejos de robótica móvil, sensorica avanzada, comunicación inalámbrica robusta y sistemas de control autónomos. La concepción y construcción de un prototipo capaz de navegar con precisión en espacios confinados, soportar condiciones ambientales adversas (humedad, temperatura y vibraciones) y recopilar datos fiables de presión y composición de

gases, implica desafíos ingenieriles significativos. Esto incluye la optimización de algoritmos de navegación para entornos no estructurados, el desarrollo de sistemas de fusión de datos multisensorial para una interpretación precisa del ambiente, y la implementación de protocolos de comunicación seguros para la transmisión de información crítica en tiempo real. Este enfoque multidisciplinario no solo fortalece la formación académica de los estudiantes al exponerlos a problemas de ingeniería de alto nivel y soluciones innovadoras, sino que también genera conocimiento nuevo y aplicable al campo de la robótica industrial dentro del panorama local, regional y nacional, sirviendo como un caso de estudio replicable para futuras aplicaciones en industrias similares y contribuyendo directamente a la vanguardia de la automatización en entornos peligrosos.

En el ámbito social y de seguridad ocupacional, el impacto de este proyecto es profundamente humanitario y estratégico. Al interponer una máquina en lugar de un ser humano en las zonas de alto riesgo, se logra una reducción drástica de accidentes laborales, lesiones y fatalidades. Esto no solo salvaguarda la vida de los trabajadores de la empresa Maxim Fishing, sino que también fomenta una cultura de seguridad proactiva y responsable, elevando el estándar de las prácticas laborales de la empresa y alineándola con las más rigurosas normativas nacionales e internacionales en seguridad y salud en el trabajo. Como es claro, la implementación de esta tecnología robustece la confianza del personal en los protocolos de seguridad, disminuye el estrés y la ansiedad asociados a la realización de tareas peligrosas, y mejora el bienestar psicológico general en el ambiente laboral. Más allá de Maxim Fishing, el éxito de este proyecto puede servir como un modelo para otras empresas de la región de Huila y del país, impulsando la adopción de tecnologías similares y contribuyendo a la modernización de los protocolos de seguridad en la industria colombiana, lo que a su vez generaría un impacto

positivo en la salud pública y la productividad a nivel regional y nacional. Desde una perspectiva económica, la prevención de accidentes se traduce directamente en la reducción de costos asociados a indemnizaciones, atención médica, pérdida de productividad por ausentismo, interrupciones operativas y sanciones legales, generando un retorno de inversión tangible y sostenible.

Finalmente, a nivel personal y profesional, este proyecto ofrece una oportunidad de crecimiento y desarrollo. Los participantes pueden tener la experiencia real de aplicar directamente sus conocimientos teóricos a la resolución de un problema real y de alta complejidad. Esta experiencia práctica no solo solidifica las habilidades técnicas en áreas como la programación de microcontroladores, el diseño mecánico asistido por computadora (CAD), la integración de sistemas y la calibración de sensores, sino que también fomenta el desarrollo de habilidades blandas críticas. La gestión de un proyecto con múltiples fases, la resolución de problemas inesperados, el trabajo en equipo multidisciplinario, la comunicación efectiva de hallazgos y la capacidad de adaptar el diseño a requerimientos específicos, son competencias invaluableles que se adquieren. Esta vivencia práctica, que va más allá de la simulación teórica, complementa de manera excepcional la formación académica y dota a los estudiantes y jóvenes profesionales de una ventaja competitiva significativa en un mercado laboral cada vez más exigente, preparándolos para roles de liderazgo en innovación, automatización y seguridad industrial. El proyecto no solo contribuye al acervo tecnológico de la empresa, sino que también impulsa el desarrollo de una nueva generación de ingenieros conscientes de la imperiosa necesidad de soluciones que pongan la vida humana en el centro del avance tecnológico.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Elaborar un sistema robótico teledirigido que permita realizar mediciones de gases en espacios confinados y monitorear pruebas de presión a distancia superior a 50 metros, con el fin de mejorar la seguridad y eficiencia operativa de Maxim Fishing.

### **Objetivos Específicos**

Identificar las especificaciones técnicas y requisitos operativos necesarios para el diseño y desarrollo del carro robótico, y la implementación de sistemas de comunicación remota.

Diseñar el sistema mecánico y electrónico del carro robótico, considerando aspectos como la movilidad, estabilidad y resistencia requeridas para operar en entornos confinados y exteriores.

Integrar todos los componentes electrónicos y mecánicos del carro robótico para lograr un sistema autónomo de control y navegación, con capacidad de comunicación remota efectiva para la supervisión de pruebas de presión y medición de gases.

Realizar un proceso de pruebas y ajustes reales del carro robótico, evaluando su desempeño en la medición de gases y el monitoreo de pruebas de presión.

## **Marco Conceptual**

El marco conceptual para el desarrollo del proyecto aplicado aborda los siguientes conceptos claves:

### **Robótica Móvil**

La robótica móvil permite desarrollar sistemas autónomos o teledirigidos capaces de desplazarse en entornos físicos complejos. En este proyecto, se aplica para diseñar un vehículo que opere en espacios confinados, sorteando obstáculos y manteniendo estabilidad durante la recolección de datos, para ello se integran principios de cinemática, dinámica, navegación y planeación de trayectorias, esenciales para el desplazamiento seguro del prototipo en ambientes industriales. Ahora bien, es importante señalar que la Robótica Móvil se refiere a una rama especializada de la robótica que se centra en el diseño, construcción y control de robots capaces de desplazarse de manera autónoma en un entorno físico, sin necesidad de estar fijos a una base o de requerir una manipulación constante por parte de un operador humano. A diferencia de los robots industriales tradicionales, que operan en celdas de trabajo estructuradas y repetitivas, los robots móviles están diseñados para interactuar y navegar en espacios dinámicos y, a menudo, no estructurados o semiestructurados (Romero y Solano, 2019).

La autonomía de un robot móvil se fundamenta en la integración de diversas capacidades y subsistemas clave. Estos incluyen:

### ***Locomoción***

Mecanismos que permiten el movimiento, como ruedas (el más común), orugas (para terrenos irregulares), patas (para terrenos complejos o escalada), rotores (en robots aéreos o drones) o propulsores (en robots acuáticos). (Vargas, 2017).

### ***Percepción***

Sensores que le permiten al robot percibir su entorno, como cámaras (visión artificial), telémetros láser (LiDAR), sensores ultrasónicos, infrarrojos, GPS, o sistemas de detección de gases y presión. Estos sensores recopilan datos sobre obstáculos, el estado del ambiente y la propia posición del robot (Romero y Solano, 2019).

### ***Localización y Mapeo***

Procesos mediante los cuales el robot determina su posición dentro del entorno (localización) y, simultáneamente, crea o actualiza un mapa de dicho entorno (mapeo), una capacidad a menudo conocida como SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). (Pérez et al., 2021)

### ***Navegación***

La capacidad de planificar trayectorias desde un punto de partida hasta un destino, evitando obstáculos y adaptándose a los cambios del entorno. Esto implica algoritmos de planificación de ruta y control de movimiento (Vargas, 2017).

### ***Toma de Decisiones***

La inteligencia a bordo que permite al robot procesar la información sensorial, interpretar el entorno y tomar decisiones en tiempo real sobre sus acciones, ya sea para seguir una ruta, explorar, o ejecutar una tarea específica (Pérez et al., 2021).

Es pertinente señalar que en la actualidad los robots móviles están encontrando aplicaciones cada vez más diversas en numerosos sectores. En la industria, se utilizan para tareas de logística, inspección de infraestructuras (como tuberías, puentes o depósitos), transporte de materiales en almacenes (AGVs y AMRs), y vigilancia de seguridad en grandes instalaciones. En

el ámbito de los servicios, asisten en la limpieza, la entrega de paquetes o alimentos, y el cuidado de personas. También son fundamentales en exploración (espacial, submarina, zonas de desastre), agricultura de precisión y tareas de búsqueda y rescate en ambientes peligrosos. Su desarrollo continuo busca aumentar su autonomía, robustez, seguridad y capacidad de adaptación a entornos cada vez más complejos y dinámicos (Pérez et al., 2021).

### **Ingeniería Mecánica y Electrónica**

El concepto de Ingeniería Mecánica y Electrónica, o más comúnmente conocido como Ingeniería Mecatrónica o Ingeniería Electromecánica en el ámbito hispanohablante, se refiere a una disciplina de la ingeniería que integra de forma sinérgica conocimientos y aplicaciones de diversas ramas tradicionales. Su esencia radica en la combinación armoniosa de la ingeniería mecánica (que se ocupa del diseño, construcción y análisis de sistemas físicos y sus componentes, como motores, estructuras, mecanismos y procesos de manufactura) con la ingeniería electrónica (que abarca el diseño de circuitos, sistemas de control, procesamiento de señales y el desarrollo de hardware y software para la "inteligencia" de los sistemas) (Mayab, 2024)

Según Mayab (2024) esta integración tiene como objetivo principal el diseño y la creación de productos, procesos y sistemas inteligentes, autónomos y eficientes que no podrían concebirse únicamente desde la perspectiva de una sola disciplina. Un ingeniero mecánico y electrónico está capacitado para abordar problemas que requieren una comprensión profunda tanto del movimiento y la fuerza como de la lógica y el control eléctrico/digital. Esto se traduce en la capacidad de desarrollar sistemas que perciben su entorno, toman decisiones, y ejecutan acciones físicas de manera controlada y precisa.

Según UNESUM, (2023) Las áreas clave de estudio y aplicación de esta ingeniería combinada incluyen, pero no se limitan a:

### ***Robótica***

Diseño y control de robots (como el carro robótico para espacios confinados), donde la mecánica proporciona la estructura y el movimiento, y la electrónica el software la inteligencia y el control.

### ***Automatización Industrial***

Creación de sistemas automatizados en fábricas y procesos, que involucran maquinaria mecánica controlada por sistemas electrónicos y computacionales.

### ***Sistemas de Control***

Diseño de sistemas que regulan el comportamiento de dispositivos para lograr un rendimiento deseado, utilizando sensores y actuadores mecánicos y electrónicos.

### ***Diseño de Productos Inteligentes***

Desarrollo de dispositivos con funcionalidades avanzadas, desde electrodomésticos hasta vehículos autónomos, donde los componentes mecánicos, electrónicos y software trabajan en conjunto.

La Ingeniería Mecánica y Electrónica busca optimizar la funcionalidad, flexibilidad, versatilidad y fiabilidad de máquinas y dispositivos, dotándolos de un nivel de inteligencia y autonomía que mejora su interacción con el ser humano y su entorno, y es fundamental para la llamada "Cuarta Revolución Industrial" o Industria 4.0 (Mayab, 2024).

Para claridad del lector, es importante señalar que el diseño del prototipo de este estudio

contempla una integración mecánico-electrónica que incluye: estructura física, sistemas de tracción, selección de materiales resistentes, y circuitos electrónicos para sensores y controladores.

### **Sensores y Sistemas de Medición**

El carro robótico para supervisar pruebas de presión y medición de gases se fundamenta en una integración de sensores y sistemas de medición, vital para la detección precisa y confiable de condiciones ambientales y operativas en espacios confinados. Este eje conceptual no se limita a la mera inclusión de componentes, sino que enfatiza la instrumentación electrónica de alta precisión que permite obtener datos en tiempo real. El uso de sensores específicos como el MQ-2 para la detección de gases inflamables (como metano, propano, butano, hidrógeno y alcohol) y el MQ-135 para gases tóxicos y calidad del aire (incluyendo amoníaco, sulfuro de hidrógeno, benceno, CO<sub>2</sub>, alcohol, humo) es crítico para identificar atmósferas potencialmente peligrosas. Estos sensores, basados en la tecnología de óxido de estaño (SnO<sub>2</sub>), varían su resistencia eléctrica en presencia de las concentraciones de gas, lo que permite cuantificar su presencia. Su selección es estratégica debido a su sensibilidad, rango de detección y capacidad de respuesta rápida, atributos fundamentales para la seguridad en entornos volátiles (Garcés et al., 2021).

Paralelamente, la incorporación de sensores de presión calibrados es esencial para monitorear las pruebas industriales que se realizan en tuberías o recipientes dentro de estos espacios. Estos sensores deben ser robustos y capaces de operar en las condiciones específicas del entorno (temperatura, humedad), proporcionando lecturas exactas para verificar la integridad de los sistemas bajo prueba. La calibración periódica de estos instrumentos garantiza la exactitud

de las mediciones, que son cruciales para la toma de decisiones de seguridad y para el cumplimiento de procedimientos. La sinergia de estos sensores permite una evaluación integral del ambiente, reduciendo drásticamente la exposición directa del personal a sustancias peligrosas y ambientes críticos, transfiriendo el riesgo a un sistema automatizado (Fernández y López, 2022).

### **Comunicaciones y Telemetría**

El éxito operativo de un carro robótico en espacios confinados depende intrínsecamente de un sistema de comunicación y telemetría robusto y fiable. Este componente conceptual es el puente vital que conecta el robot con el operador humano en un entorno remoto, permitiendo tanto la transmisión de datos cruciales como el control bidireccional de la plataforma (Sánchez, 2021).

La elección de módulos NRF24L01 para la comunicación inalámbrica es estratégica por su bajo consumo de energía, su capacidad de operar en la banda ISM de 2.4 GHz (licencia libre) y su eficiencia en la transmisión de pequeños paquetes de datos, ideal para la telemetría y comandos de control. Estos módulos operan bajo el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), un estándar de comunicación síncrona que facilita una interfaz rápida y sencilla con microcontroladores, garantizando una transferencia de datos eficiente entre el robot y el operador (Quinatoa y Herrera, 2023).

Esta arquitectura de comunicación facilita la telemetría industrial, un concepto que habilita el envío de datos en tiempo real desde zonas de difícil acceso, como el interior de tanques, tuberías o estructuras subterráneas, hacia una estación remota de monitoreo segura. A

través de este enlace, el operador puede recibir de forma continua lecturas de gases, presión, estado de la batería del robot, y otra información relevante. Simultáneamente, el operador puede enviar comandos al carro robótico para dirigir su movimiento, activar funciones específicas o ajustar parámetros de medición. La fiabilidad de esta comunicación es primordial, ya que cualquier interrupción podría comprometer la misión y la seguridad del sistema, haciendo que la selección de un protocolo y hardware adecuados sea una decisión crítica para el diseño del sistema (Quinatoa y Herrera, 2023).

### **Seguridad en el Trabajo y Normativas**

La seguridad en el trabajo es el pilar fundamental y no negociable en el diseño y operación del carro robótico. Este sistema no solo busca mejorar la seguridad del personal, sino que en sí mismo debe ser un ejemplo de ingeniería de seguridad aplicada. Por ello, su diseño y funcionamiento se rigen estrictamente por normativas internacionales y estándares de seguridad industrial que abordan el trabajo en espacios confinados y la prevención de riesgos por atmósferas explosivas o tóxicas.

La NFPA 350 (Guía para Entradas Seguras a Espacios Confinados) y las normas de OSHA (Occupational Safety and Health Administration), como la 29 CFR 1910.146 (Permit-Required Confined Spaces), son referencias críticas. Estas normativas dictan requisitos rigurosos para la evaluación atmosférica, la ventilación, el control de energías peligrosas y los procedimientos de entrada y rescate. El carro robótico, al operar como una "extensión" del personal de seguridad, debe cumplir con estos principios al proporcionar datos precisos que informen si una entrada humana es segura o no. (López y Marín, 2019).

La implementación de carcasas protectoras robustas es un requisito intrínseco del diseño,

asegurando que el equipo sea resistente a los ambientes hostiles (humedad, polvo, corrosión, impactos menores) y que, en caso de fallo, no genere riesgos adicionales. En entornos con riesgo de explosión o presencia de gases inflamables, la carcasa debe cumplir con estándares de diseño intrínsecamente seguro (ATEX o equivalentes), minimizando la generación de chispas o calor que puedan detonar una atmósfera peligrosa. Además, los protocolos de operación del robot deben estar alineados con las mejores prácticas de seguridad, incluyendo procedimientos de inicio, monitoreo continuo, detección de fallos y protocolos de emergencia para su recuperación. Este componente conceptual garantiza que el carro robótico opere sin comprometer la integridad del personal cercano (cuando sea pertinente) ni del propio equipo, siendo una herramienta de seguridad que reduce, no introduce, nuevos riesgos (Vargas, 2022).

## **Marco Legal y Normativo**

A continuación, se expone el marco legal y normativo pertinente a la presente propuesta de estudio.

### **Normativas de Seguridad en el Trabajo**

Dado que el proyecto se enfoca en la reducción de riesgos laborales en entornos industriales, se deben considerar las siguientes normativas:

NFPA 350 (National Fire Protection Association): Guía para la entrada y el trabajo seguro en espacios confinados. Define estándares de seguridad para trabajos en ambientes donde hay presencia de gases peligrosos.

OSHA (Occupational Safety and Health Administration): Regulaciones para la seguridad en espacios confinados en la industria, incluyendo el uso de sensores y equipos de detección de gases.

Norma Técnica Colombiana NTC 5802: Relacionada con los requisitos para la formulación y gestión de proyectos de investigación, desarrollo e innovación en ingeniería.

### **Normas sobre Detección de Gases y Presión**

El proyecto integra sensores para detectar gases y monitorear pruebas de presión, por lo que debe alinearse con las siguientes normativas vigentes:

ASTM International (ASTM E2600): Métodos de detección y monitoreo de gases en espacios confinados.

ISO 8573-1: Calidad del aire en sistemas industriales y medición de contaminantes en espacios de trabajo.

ISO 17025: Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración, aplicable a los sensores de medición de gases y presión.

### **Normativas sobre Robótica y Telecomunicaciones**

Dado que el carro robótico opera mediante comunicación remota, es fundamental cumplir con regulaciones de robótica y telecomunicaciones:

ISO 10218-1 y 10218-2: Seguridad en robots industriales, estableciendo requisitos para el diseño y uso de robots en ambientes de trabajo.

IEEE 802.11 (Wi-Fi) y IEEE 802.15.4 (Zigbee): Normas internacionales para la comunicación inalámbrica de los módulos NRF24L01 empleados en el sistema de control.

Regulación de la Agencia Nacional del Espectro en Colombia: Normas para el uso de frecuencias de comunicación inalámbrica sin licencia en aplicaciones industriales.

### **Normativas Ambientales**

Como el sistema puede operar en entornos industriales donde se manipulan gases peligrosos, se deben considerar regulaciones ambientales:

ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental, certificación con la que cuenta Maxim Fishing y a la que debe alinearse el proyecto.

Normativa Colombiana de Gestión de Residuos Electrónicos: Para la disposición adecuada de sensores y componentes electrónicos usados en el carro robótico.

### **Normativa en Innovación y Desarrollo Tecnológico**

El proyecto se enmarca dentro de un proceso de investigación aplicada, por lo que debe cumplir con:

Ley 1286 de 2009 (Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia): Fomenta la investigación y el desarrollo tecnológico en el país.

Norma ISO 56002: Gestión de la innovación en proyectos de desarrollo tecnológico.

## **Marco Tecnológico**

El marco tecnológico de este estudio se basa en la integración de diversas tecnologías de vanguardia enfocadas en la robótica, los sensores y los sistemas de comunicación y control, con el fin de desarrollar un sistema para la medición remota de gases y monitoreo de pruebas de presión en entornos industriales.

### **Robótica Móvil**

El carro robótico propuesto en este estudio se diseñó específicamente para operar en entornos confinados y peligrosos, con el fin primordial de minimizar la exposición del personal a riesgos laborales. Las tecnologías clave integradas en su desarrollo incluyen:

#### ***Plataforma de Movilidad***

Un chasis motorizado con tracción diferencial facilita su desplazamiento eficiente sobre diversas superficies dentro de los espacios confinados.

#### ***Controladores de Motor***

El módulo L298N se encarga de regular con precisión la velocidad y dirección de los motores del carro, asegurando una movilidad controlada.

#### ***Arduino***

Este microcontrolador es el encargado de recibir los datos del mando de control, permitiendo la movilidad de la plataforma (el desplazamiento del carro).

## ***Esp32***

Este microcontrolador de bajo consumo de corriente eléctrica es el encargado de leer los datos de los sensores expuestos, enviando la información recopilada a la nube.

## **Sensores y Sistemas de Medición**

El proyecto del carro robótico de supervisión, incorpora sensores especializados para la detección de gases en espacios industriales y una cámara para el monitoreo de pruebas de presión. Entre ellos se encuentran:

### ***Sensores de Gases***

Modelos MQ-2 y MQ-135, utilizados para detectar gases inflamables y compuestos nocivos en el ambiente.

### ***Cámara de Video***

Este dispositivo electrónico permite monitorear en tiempo real las pruebas de presión.

## **Sistemas de Comunicación y Telemetría**

La comunicación remota es fundamental para la operación del carro robótico. Para ello, se empleó:

### ***Módulo de Comunicación Inalámbrica NRF24L01***

Permite la transmisión de datos entre el robot y el operador en tiempo real mediante radiofrecuencia.

### ***Protocolo de Comunicación SPI***

Garantiza la transferencia de datos eficiente entre los sensores y el microcontrolador.

### ***Implementación de Wi-Fi***

La comunicación wi-fi permite enviar los datos leídos de los sensores hacia la nube.

## **Sistemas de Control y Procesamiento**

El carro robótico cuenta con un sistema de control basado en hardware y software que permite su operación de manera remota:

### ***Algoritmos de Control de Movimiento***

Implementados en Arduino para la navegación autónoma y el ajuste de trayectorias.

### ***Interfaz de Usuario***

Plataforma en un dispositivo móvil o computadora para visualizar datos en tiempo real y enviar comandos al robot.

## **Alimentación y Autonomía**

Es importante precisar que el sistema eléctrico del carro robótico debe contar con una fuente de alimentación eficiente que permita su operación en ambientes industriales sin interrupciones, para la cual se requiere:

### ***Baterías Recargables 18650 de Li-Ion***

Proporcionan la energía necesaria para los motores y el sistema de control.

### ***Sistema de Gestión de Carga***

Permite optimizar la duración de la batería, evitando sobrecargas.

## **Seguridad y Protección del Sistema**

Para garantizar la seguridad en la operación del robot en entornos industriales, se han considerado las siguientes tecnologías:

### ***Protección Contra Explosiones***

Uso de carcasas resistentes para evitar chispas en atmósferas inflamables.

***Cumplimiento de Normativas***

Diseño alineado con la NFPA 350 y regulaciones de la OSHA para la operación en espacios confinados.

## **Marco Contextual**

El ámbito de la robótica y la automatización ha generado un impacto significativo en la industria, especialmente en la supervisión y control de entornos de alto riesgo. La necesidad de mejorar la seguridad laboral y la eficiencia operativa en espacios confinados ha impulsado la implementación de soluciones innovadoras basadas en robótica y sensores inteligentes.

En este contexto, el carro robótico para la supervisión de pruebas de presión y medición de gases representa una solución tecnológica que responde a la demanda de seguridad y precisión en la industria, especialmente en empresas como Maxim Fishing, que requieren garantizar condiciones de trabajo seguras en sus instalaciones.

### **Contexto General**

Maxim Fishing S.A.S. es una empresa que ofrece una gran variedad de servicios, incluyendo asesoría en operaciones de Wireline, suministros de equipos y herramientas, mantenimiento y reparación, registro y memorizado de presión, y perforación en tubería. La organización está comprometida con la calidad, la innovación y la seguridad, y cuenta con personal calificado y equipos modernos. La empresa está certificada en ISO 14001 y posee prácticas ambientales armónicas y cuidadosas con los ecosistemas que le circunscriben.

## Información Detallada de la Organización

Nombre Completo: *MAXIM & FISHING SOLUTIONS PROVIDE S.A.S.*

NIT: 900.318.076-0

Actividad Económica Principal: La empresa se especializa en ofrecer soluciones integrales de ingeniería al sector de hidrocarburos.

Sus servicios principales incluyen:

Trabajos de pesca de herramientas (*Fishing*): Recuperación de equipos o dispositivos perdidos en fondos de pozos petroleros.

Adquisición de datos con tecnología *Wireline*: Servicios para bajar equipos o dispositivos de medición a un pozo para intervenciones y evaluación del yacimiento. Esto incluye registros de *Cased Hole* (pozo revestido) memorizados o en tiempo real para monitorear variables del pozo y diagnosticar la formación o integridad de los escenarios de trabajo.

Pruebas y mantenimiento de pozos - *Slickline*: Incluye servicios como *Flush by*, RSU (*Rigless Service Unit*), *Well Testing* (pruebas de pozo), mantenimiento y reparación de equipos tanto en superficie como en subsuelo, trabajos en tuberías, tanques, reparación de *casing*, tuberías de fondo, trabajos de cementación, y tratamientos con fluidos para la formación.

Perforación en *Tubing*: es el proceso de crear agujeros en una tubería, para permitir la producción de petróleo y gas, la inyección de fluidos, o para otras aplicaciones especiales.

Suministro de equipos y herramientas: Cuentan con el material necesario para la ejecución de servicios.

Dirección en Neiva (Huila): Kilómetro 4 Vía Neiva-Palermo, Bodega B-03, Parque Industrial el Viso.

PBX/FAX Neiva: (57 8) 863 2435

Celular Neiva: 318 7970103

Dirección en Bogotá (Sede Principal): Calle 122 No 7A - 69, Oficina 502.

Celular Bogotá: 318 583 73 20

Correo electrónico de gerencia: [gerencia@maximfishing.com](mailto:gerencia@maximfishing.com)

### **Contexto Industrial**

El sector industrial, especialmente en empresas que trabajan con sistemas presurizados y manipulación de gases, enfrenta desafíos relacionados con la seguridad de los trabajadores. Las tareas de medición de presión y detección de gases en espacios confinados son críticas, ya que cualquier error puede derivar en accidentes graves, afectando tanto al personal como a la infraestructura.

Maxim Fishing, la empresa en la que se implementará este prototipo, se especializa como ya se dijo anteriormente en operaciones de wireline, suministros de equipos y herramientas, mantenimiento y reparación de sistemas de presión y perforación en tuberías. Estas actividades requieren un monitoreo constante para prevenir incidentes asociados con escapes de gases o fallos en la presión de los sistemas.

### **Contexto Tecnológico**

El avance en robótica móvil, sensores y telecomunicaciones ha permitido la creación de dispositivos autónomos que optimizan la supervisión en entornos industriales. La combinación de *hardware* y *software* especializado, como sensores de gases (MQ-2 y MQ-135), sistemas de comunicación inalámbrica (NRF24L01) y microcontroladores (Arduino y Esp32), ofrece una solución eficiente para ejecutar los procesos de monitorización en tiempo real de condiciones ambientales peligrosas.

Este tipo de tecnología se está implementando en diversas industrias actuales para reducir la exposición del personal a entornos de alto riesgo, mejorando la capacidad de respuesta ante situaciones críticas y optimizando la eficiencia operativa.

### **Contexto Social y Laboral**

Desde una perspectiva social y laboral, este proyecto contribuye significativamente a la seguridad ocupacional, reduciendo la exposición de los trabajadores a sustancias peligrosas y mejorando la supervisión en áreas de difícil acceso. La implementación de soluciones robóticas en la industria es clave para cumplir con normativas de seguridad y prevención de accidentes laborales.

Además, este proyecto está alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 9: *Industria, Innovación e Infraestructura*, el cual busca impulsar la modernización tecnológica en los procesos industriales, promoviendo condiciones de trabajo más seguras y eficientes.

### **Contexto Académico y de Investigación**

Este proyecto de grado desarrollado en la Universidad Nacional Abierta ya Distancia (UNAD) es una iniciativa que integra conocimientos en ingeniería electrónica, mecánica y

robótica para resolver un problema real de la industria. A través de la investigación y aplicación de tecnologías innovadoras, se busca demostrar la viabilidad de la robótica como herramienta clave para mejorar la seguridad en entornos laborales peligrosos.

La validación y desarrollo del carro robótico proporcionará datos útiles para futuras investigaciones en el área de automatización industrial, telemetría y sistemas de monitoreo remoto, fortaleciendo la formación académica y el avance en tecnologías aplicadas a la industria.

## Metodología

La metodología para el desarrollo del proyecto del carro robótico para Maxim Fishing seguirá cuantitativo con enfoque experimental que abarca las siguientes etapas:

### **Análisis de Requerimientos**

La fase inicial y fundamental de este proyecto consistió en un análisis detallado y exhaustivo de todos los requerimientos, sentando las bases para el diseño y desarrollo del carro robótico. Este proceso implicó una comprensión profunda de las necesidades específicas de la empresa Maxim Fishing S.A.S., así como de los estrictos criterios técnicos, operativos y normativos aplicables a su sector.

Primero, se llevó a cabo una identificación concreta de las necesidades de Maxim Fishing S.A.S. Esto incluyó reuniones y consultas con el personal técnico y de seguridad de la empresa para comprender a fondo sus desafíos actuales en la medición remota de gases y el monitoreo de pruebas de presión, especialmente en espacios confinados. Se buscó establecer con claridad qué tipo de datos eran críticos, con qué frecuencia debían ser obtenidos y cómo la automatización podría minimizar la exposición del personal a riesgos.

A partir de estas conversaciones, se procedió a la definición precisa de las variables físicas a detectar y monitorear. Esto incluyó determinar los tipos específicos de gases presentes en los entornos de operación de Maxim Fishing (por ejemplo, metano, H<sub>2</sub>S, CO, etc.), así como sus rangos de concentración esperados y los límites de detección requeridos. Simultáneamente, se establecieron los rangos de presión que el robot debía monitorear durante las pruebas industriales, especificando la precisión y la frecuencia de muestreo necesarias para cada variable. Además, se definieron las distancias operativas que el carro debía cubrir, tanto en términos de su alcance de movimiento como de la distancia para la transmisión inalámbrica de datos.

Un componente crucial fue la determinación exhaustiva de las condiciones operativas del entorno. Esto implicó analizar las dimensiones típicas de los espacios confinados (tuberías, tanques, pozos), la presencia de obstáculos que pudieran dificultar la navegación del robot, y las posibles fuentes de interferencias electromagnéticas o de señal que afectaran las comunicaciones. Se hizo un levantamiento detallado de los peligros inherentes al ambiente, como la presencia de atmósferas explosivas, altas temperaturas, humedad o corrosión, para asegurar que el diseño del robot fuera inherentemente seguro y robusto.

Finalmente, se realizó un levantamiento riguroso de criterios técnicos y de seguridad que guiarían la selección de todos los componentes del sistema. Esto incluyó requisitos para la certificación de sensores (precisión, rangos, tiempo de respuesta), la robustez del hardware (resistencia a impactos, temperatura, líquidos), la fiabilidad de los sistemas de comunicación y la autonomía de la batería. De manera crucial, se integraron las normativas y estándares de seguridad industrial pertinentes, como NFPA 350 para espacios confinados, regulaciones de OSHA, y estándares ATEX o similares para equipos que operan en atmósferas potencialmente explosivas. Este análisis integral aseguró que el proyecto abordará no solo las necesidades funcionales, sino también la seguridad y el cumplimiento normativo desde sus cimientos.

## Investigación y Estado del Arte

El proceso de investigación de este estudio, encontró que el estudio de Coca (2020), realizado en Bolivia, titulado *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de gases tóxicos en espacios confinados utilizando sensores MQ y microcontrolador ESP32*, presentó un sistema fijo de monitoreo de gases tóxicos en espacios confinados mediante sensores MQ y microcontrolador ESP32, priorizando la precisión en la detección de gases como CO y H<sub>2</sub>S en tiempo real. Aunque comparte similitudes tecnológicas con esta investigación como el uso del ESP32 y sensores MQ, el sistema boliviano está concebido para instalaciones estáticas, mientras que el carro robótico incorporó además movilidad teledirigida, comunicación remota y supervisión visual, ampliando significativamente la capacidad de respuesta en entornos de riesgo. Convirtiendo el carro robótico en una solución más versátil y proactiva, especialmente en sectores como el petrolero donde la movilidad y adaptabilidad son fundamentales.

Una vez se analizó la propuesta de Zhang (2013), titulada: *Design and Implementation of an Intelligent Mobile Robot System for Gas Detection in Hazardous Environments*, proveniente de China, se halló que esta desarrolla un sistema robótico móvil inteligente para la detección de gases en entornos peligrosos, utilizando sensores múltiples y navegación autónoma asistida por inteligencia artificial. Al igual que el carro robótico propuesto en esta investigación, este proyecto integra movilidad, sensores de gases y operación remota, aunque se enfoca en autonomía plena y procesamiento interno avanzado. Por su parte, el carro robótico se orienta a una solución práctica y operativa con control teledirigido, destacando en contextos industriales reales como el de Maxim Fishing, donde la simplicidad, robustez y adaptabilidad son clave. Así, mientras Zhang prioriza la inteligencia del sistema, el proyecto del carro robótico se centra en la

aplicabilidad inmediata, eficiencia técnica y pertinencia en el sector hidrocarburos.

Dentro del panorama investigativo se encontró el estudio de Praveen y Sasikumar (2019), realizado en India, el cual propuso un sistema inteligente de detección de gases con capacidad de alerta inmediata a través de tecnologías IoT, empleando sensores MQ y conectividad en la nube para monitorear ambientes cerrados. Aunque comparte el objetivo de reducir riesgos humanos mediante monitoreo de gases, su enfoque es netamente estacionario y doméstico, diseñado para hogares o pequeños espacios cerrados. En contraste, el carro robótico de este estudio desarrollado, ofrece una solución más integral, móvil y especializada para entornos industriales complejos como los de la empresa Maxim Fishing, integrando sensores, movilidad remota y visualización en tiempo real, lo que lo convierte en una alternativa más completa y contextualizada para aplicaciones de alto riesgo en entornos laborales y no domésticos.

Asimismo, una vez estudiada la investigación por parte de Hernandez et al. (2014), desarrollado en Alemania, presenta una unidad robótica móvil equipada con múltiples sensores para la discriminación no supervisada de gases en ambientes no controlados, utilizando técnicas avanzadas de machine learning para identificar compuestos químicos sin intervención humana directa. Esta propuesta se destacó por su enfoque científico y experimental en entornos de investigación, priorizando la autonomía sensorial y el análisis inteligente de datos. En comparación, el carro robótico de este estudio, aunque menos complejo en términos de inteligencia artificial, se orienta a la funcionalidad operativa inmediata en escenarios reales como los de las empresas de hidrocarburos con sensores calibrados, control remoto y validación industrial, lo que lo convierte en una solución efectiva, aplicable y económicamente viable en la

industria en mención.

Se logró encontrar una investigación bastante reciente de Patil y Karwankar (2023), desarrollada en India y titulada: *Development of Gas Leakage Detection and Location Identification System*, este estudio describe el diseño de un sistema fijo para la detección de fugas de gas y la identificación de su ubicación, utilizando sensores MQ y tecnología GPS para georreferenciar el punto de fuga. Aunque ofrece una mejora significativa respecto a sistemas pasivos, su enfoque sigue siendo estacionario y orientado a entornos estructurados. En cambio, el carro robótico de la presente investigación, no solo detecta gases, sino que también se desplaza de manera teledirigida en espacios confinados, integrando un monitoreo de presión, videovigilancia y comunicación inalámbrica, ofreciendo a su vez una solución activa y móvil, adaptada a las condiciones operativas del sector hidrocarburos en Colombia, donde la flexibilidad y la intervención en tiempo real son determinantes.

El proyecto presentado por Pravin y Jaya (2021), en India, titulado: *Intelligent Robot for Hazardous Gas Detection*, propuso un robot inteligente diseñado para la detección de gases peligrosos en ambientes industriales, utilizando sensores MQ y un microcontrolador con funciones básicas de movilidad y alerta. Aunque incorpora desplazamiento y automatización básica, su enfoque se mantiene en prototipos de bajo costo para fines educativos o de monitoreo general. En cambio, el carro robótico se distingue por desarrollar un mejor tipo de diseño, validación en condiciones industriales reales y su aplicación específica en espacios confinados del sector hidrocarburos, integrando no solo movilidad remota y sensorial múltiple, sino también videovigilancia y transmisión de datos en tiempo real, lo que lo convierte en una propuesta más avanzada, confiable y directamente aplicable al entorno operativo de empresas de hidrocarburos.

Adicionalmente, se encontró el estudio presentado por ExRobotics (2020), titulado: *ExR-1 – Autonomous Robot for Gas Detection in Hazardous Industrial Environments*, donde se expone desde los Países Bajos en Europa, el desarrollo del robot autónomo ExR-1, diseñado específicamente para entornos industriales con riesgo de explosión, con certificación ATEX y capacidad para patrullar, detectar gases y enviar alertas de forma remota sin supervisión directa. Este robot configura un sistema de alta gama para la industria del petróleo y del gas, desarrollando un enfoque de autonomía completa, conectividad avanzada y operación en ambientes extremos. Comparado con el carro robótico de esta investigación, orientado a entornos confinados y con control teledirigido, esta propuesta se perfila como una alternativa más accesible y adaptable al contexto local, manteniendo funcionalidad industrial, pero sin los altos costos y requerimientos tecnológicos.

Ahora bien, Pavani et al. (2022), desde India, presentó a través de su investigación: *Hazardous Gas Detecting Robot Using Arduino*, un robot móvil básico para la detección de gases peligrosos usando sensores MQ y un microcontrolador Arduino UNO, pensado como prototipo educativo para la identificación temprana de fugas en espacios interiores. Aunque se asemeja al proyecto de Maxim Fishing en su interés por reducir la exposición humana, el nivel tecnológico y de integración del sistema indio es elemental, careciendo de sistemas avanzados de navegación, calibración precisa o comunicación remota. En contraste, el carro robótico se posiciona como una herramienta especializada para contextos industriales reales, con control teledirigido, sensores calibrados, visualización remota y pruebas de validación en campo, respondiendo directamente a las exigencias operativas de empresas del sector hidrocarburos.

De forma paralela se encuentra un estudio denominado: *A Mobile Robot for Hazardous*

Gas Sensing, ejecutado por Das et al. (2020), el cual fue llevado a cabo en India, en él se presenta un robot móvil equipado con sensores de gases peligrosos, detección de humanos, GPS y sensores de obstáculos, capaz de navegar en terrenos irregulares y transmitir información en tiempo real a un dispositivo remoto. Este sistema se destaca por su capacidad de detección autónoma y mapeo de gases en entornos no controlados, utilizando técnicas de clasificación basadas en redes neuronales con una precisión promedio del 98%. En comparación, el carro robótico desarrollado en esta investigación, se enfoca en una solución práctica y operativa con control teledirigido, integrando sensores calibrados, videovigilancia y validación en condiciones industriales reales, ofreciendo una alternativa robusta y adaptada a las necesidades específicas del sector hidrocarburos.

Por último, se realizó un análisis exhaustivo al artículo de investigación denominado: Design and Implementation of a Gas Detection System Based on Wireless Sensor Networks, autoría de Li (2012), desarrollado en China para una comparación más compleja de lo que ha sido la evolución tecnológica desde hace 13 años, donde propone un sistema de detección de gases basado en redes de sensores inalámbricos (WSN), orientado a la supervisión ambiental en entornos industriales amplios, utilizando tecnología ZigBee para la transmisión de datos. En contraste, el proyecto del carro robótico desarrollado introduce una solución móvil y teledirigida que integra sensores de gases, monitoreo de presión y videovigilancia, especialmente diseñada para operar en espacios confinados. A diferencia del enfoque estático de Li, el carro robótico de esta investigación ofrece una respuesta dinámica y adaptable, ideal para contextos de difícil acceso como los de la industria petrolera, combinando movilidad, control remoto y mayor versatilidad operativa.

Es importante agregar una vez efectuado el ejercicio de mapeo para la elaboración del estado del arte de este estudio, que el campo de la robótica en la actualidad configura un escenario extenso de investigación e innovación constante, el cual permea el amplio panorama internacional siendo así cómo se evidencian avances en carros robóticos para todos los sectores empresariales y domésticos presentando opciones robóticas con características variadas y con diferentes costos de producción y comercialización.

## **Diseño Conceptual**

El diseño conceptual del carro robótico para la supervisión de pruebas de presión y medición de gases en espacios confinados de Maxim Fishing se centra en la creación de un sistema robusto y teledirigido, capaz de operar de manera segura en ambientes industriales de riesgo. La arquitectura general integra subsistemas mecánicos, electrónicos y de software, todos interconectados para cumplir con su misión principal: minimizar la exposición humana a condiciones peligrosas mientras se recopilan datos críticos.

### **Arquitectura General del Sistema**

La arquitectura del carro robótico se concibe como un sistema modular de tres capas principales:

#### ***Capa Mecánica (Hardware Físico)***

Comprende la estructura física del robot, los sistemas de movimiento y los soportes para la electrónica y los sensores.

#### ***Capa Electrónica (Hardware de Control y Sensórica)***

Abarca el cerebro del robot (microcontroladores), los sistemas de potencia, los módulos de comunicación y los sensores de adquisición de datos.

#### ***Capa de Software (Lógica de Operación)***

Incluye los algoritmos de control de movimiento, el procesamiento de datos de los sensores y la lógica para la interfaz de usuario remota.

Se precisa que esta organización modular facilita el diseño, la fabricación, el mantenimiento y futuras actualizaciones del sistema.

## **Componentes Principales y su Interconexión**

El carro robótico integra los siguientes componentes clave, diseñados para trabajar en armonía:

### ***Plataforma de Movilidad y Estructura Mecánica***

Chasis Robusto: Se ha diseñado una estructura compacta y duradera, de aleaciones ligeras pero resistentes a entornos industriales (como aluminio o acero inoxidable), con un enfoque en la protección de los componentes internos. Se considera un blindaje adecuado y una carcasa anti chispas para operar en ambientes potencialmente explosivos, en línea con normativas de seguridad industrial.

### ***Sistema de Tracción Diferencial***

Compuesto por motores DC con reducción y ruedas de tamaño adecuado (posiblemente con bandas de rodadura todoterreno o para superficies lisas, dependiendo del tipo específico de espacio confinado). La tracción diferencial permite giros precisos y maniobrabilidad en espacios reducidos.

### ***Controladores de Motor (Módulo L298N)***

Estos módulos son los intermediarios entre el microcontrolador y los motores, permitiendo el control eficiente de la velocidad y dirección de cada motor de forma independiente, lo que es esencial para la tracción diferencial.

### **Subsistema de Sensórica y Medición**

Sensores de Gases:

#### ***MQ-2***

Para la detección de gases inflamables (metano, propano, butano, hidrógeno, alcohol).  
Crucial para identificar riesgos de explosión.

***MQ-135***

Para la detección de gases tóxicos y contaminantes del aire (amoníaco, sulfuro de hidrógeno, CO<sub>2</sub>, benceno, humo). Vital para evaluar la calidad del aire y la seguridad humana.

***Sensor de Presión Calibrado***

Un dispositivo de alta precisión para monitorear los valores de presión en pruebas industriales, garantizando la fiabilidad de los datos recopilados sobre la integridad de sistemas presurizados.

***Cámaras de visión para inspección visual***

Para la detección de fugas en la prueba de presión y la vigilancia de las prácticas efectuadas por el personal a cargo.

Subsistema de Control y Procesamiento

***El Microcontrolador (Esp32)***

Se encarga de gestionar y procesar los datos de todos los sensores y subirlos a la nube.

***El Microcontrolador Principal (Arduino)***

Ejecuta los algoritmos de control de movimiento para la navegación autónoma y el ajuste de trayectorias, recibir los comandos de la estación remota y traducirlos en acciones y gestionar la comunicación con los módulos inalámbricos.

***Sistema de Alimentación***

Baterías de alta capacidad (Litio-Ion o LiPo, dependiendo de los requerimientos de autonomía y seguridad) con un módulo de gestión de carga y descarga para proteger la vida útil de las baterías y asegurar un suministro energético estable. Se incluirán indicadores de nivel de batería.

### ***Subsistema de Comunicación Remota (Teledirigido)***

La capacidad de manejo teledirigido es fundamental para la seguridad y flexibilidad operativa.

### ***Módulo de Comunicación Inalámbrica (NRF24L01)***

Este es el componente principal para la transmisión de datos y comandos por radiofrecuencia. Permite una comunicación bidireccional y en tiempo real entre el carro robótico y la estación de control del operador. Su selección se basa en su bajo consumo de energía y su capacidad de establecer un enlace robusto en la banda de 2.4 GHz, adecuada para aplicaciones de control y telemetría de corto a medio alcance.

### ***Protocolo de Comunicación SPI***

Internamente, el protocolo SPI se utiliza para la transferencia de datos de alta velocidad y eficiencia entre los sensores y el Arduino Nano, asegurando que los datos se procesen rápidamente antes de ser transmitidos.

### ***Estación de Control Remoto***

Compuesta por una interfaz de usuario intuitiva que se puede ejecutar en un dispositivo móvil o una computadora. Esta interfaz permitirá:

Visualización en tiempo real de todas las lecturas de gases.

Envío de comandos de movimiento (adelante, atrás, girar, detener) y control de funciones específicas del robot (activar/desactivar sensores, cambiar modos de operación).

Representación gráfica de datos para facilitar la interpretación de las condiciones ambientales.

Futuras Mejoras en Conectividad (Potenciales)

Se considera la posible integración de Wi-Fi o Bluetooth para futuras versiones, lo que

podría ofrecer mayores anchos de banda para transmisión de video en tiempo real, mayor compatibilidad con redes existentes o conexiones de corto alcance con dispositivos auxiliares.

### **Interconexión General**

Todos los componentes se interconectarán a través de un sistema eléctrico robusto y protegido. El Arduino opera como concentrador central, controlando los motores a través de los módulos L298N. La comunicación bidireccional con la interfaz de usuario remota se establecerá a través del módulo NRF24L01, permitiendo la telemetría y el control teledirigido. La integración de protecciones físicas (carcasa, blindaje) y electrónicas (fusibles, reguladores) garantiza la seguridad del equipo y la confiabilidad de los datos en un entorno desafiante como el de las operaciones de hidrocarburos de Maxim Fishing.

## **Desarrollo y Prototipado**

Esta fase fue importante para materializar el diseño conceptual del carro robótico, transformándolo en un prototipo funcional y robusto, listo para operar en entornos industriales. Este proceso abarcó varias etapas interconectadas, cada una ejecutada con precisión para asegurar la integridad y el rendimiento del sistema.

Inicialmente, se procedió con la fabricación o ensamblaje de la estructura mecánica del carro robótico. Este paso incluyó la construcción del chasis, diseñado para ofrecer una combinación de ligereza y resistencia, capaz de soportar los componentes electrónicos y de movilidad, a la vez que facilitaba la tracción diferencial necesaria para su desplazamiento en diversas superficies. Se utilizaron materiales adecuados que garantizaban durabilidad y, si era necesario, características anti chispas para ambientes específicos, como el uso de llantas de goma.

Posteriormente, se realizó la instalación de todos los componentes electrónicos clave. Esto implicó el montaje de los sensores especializados (como los MQ-2 y MQ-135 para gases), el microcontrolador Arduino como cerebro del sistema, los controladores de motores L298N para la gestión precisa de la movilidad, y los módulos NRF24L01 para la comunicación inalámbrica. Por último, se integraron las baterías que proporcionarían la autonomía energética necesaria para sus operaciones, asegurando su correcto posicionamiento para una distribución equilibrada del peso.

Una parte crítica de todo el proceso fue la integración del sistema eléctrico completo, que no solo conectó todos los componentes de manera funcional, sino que también incorporó protecciones físicas y electrónicas. Esto incluyó la implementación de fusibles, reguladores de

voltaje y circuitos de protección contra sobrecargas o cortocircuitos, fundamentales para salvaguardar la vida útil de los componentes electrónicos y, más importante aún, para operar de forma segura en ambientes donde las fallas eléctricas podrían tener consecuencias graves. Se llevó a cabo el montaje del sistema de tracción y las primeras pruebas de movimiento básico. Esto implicó la correcta instalación de los motores en el chasis y su conexión con las ruedas, seguido de verificaciones de su alineación y capacidad de respuesta. Las pruebas de movimiento básico se centraron en validar la funcionalidad de los motores, la dirección y la capacidad del carro para desplazarse suavemente y responder a comandos iniciales, sentando las bases para las fases posteriores de programación y ajuste de algoritmos de movilidad.

## **Pruebas y Evaluación**

La fase de pruebas y evaluación fue necesaria para validar la funcionalidad, eficiencia y seguridad del carro robótico antes de su potencial implementación. Este proceso se diseñó para simular las condiciones operativas reales y asegurar que el prototipo cumpliera con los estándares esperados en entornos industriales.

Inicialmente, se ejecutaron pruebas exhaustivas de comunicación remota. Estas pruebas tuvieron como objetivo principal validar el alcance efectivo y la estabilidad del enlace inalámbrico entre el carro robótico y la estación de control del operador. Se realizaron ensayos en diversos escenarios, evaluando la latencia de la señal, la pérdida de paquetes de datos y la capacidad de mantener una conexión segura incluso a través de obstáculos o estructuras metálicas típicas de los espacios confinados. Esto fue crucial para asegurar que el operador siempre tuviera control total y recibiera información en tiempo real sin interrupciones.

Posteriormente, se procedió con la validación crítica de los sensores. Esto incluyó dos componentes principales:

### **Lectura de Gases en Entornos Simulados**

Se crearon ambientes controlados donde se liberaron concentraciones conocidas de gases específicos (inflamables y tóxicos, relevantes para los sensores MQ-2 y MQ-135). El robot fue posicionado en estos ambientes para que sus sensores registraran las lecturas, las cuales fueron comparadas con los valores de referencia para verificar la precisión y sensibilidad de los detectores.

### **Verificación del Monitoreo de las Pruebas de Presión en Pruebas Prácticas**

El robot fue integrado en un entorno que simulaba una prueba de presión industrial. Un aspecto central de la evaluación fue el comportamiento del robot en un espacio confinado

simulado. Se evaluaron minuciosamente su capacidad de navegación controlada, su estabilidad al moverse sobre superficies irregulares o inclinadas, y la respuesta precisa a los comandos enviados desde el control de mando. Se realizaron pruebas de maniobrabilidad en pasajes estrechos, giros cerrados y evitación de obstáculos para asegurar que el robot pudiera acceder y operar eficientemente en los tipos de espacios para los que fue diseñado.

Posteriormente, se llevó a cabo una recolección de datos de funcionamiento durante todas las pruebas. Esta recopilación incluyó métricas clave como: la autonomía de la batería del robot bajo diferentes cargas de trabajo y condiciones de operación, la precisión de las lecturas de todos los sensores a lo largo del tiempo y la latencia en la transmisión de datos, es decir, el tiempo de retardo entre la adquisición de un dato por el sensor y su visualización en la estación de monitoreo.

Estos datos cuantitativos y cualitativos fueron analizados para identificar cualquier debilidad, guiar los ajustes finales y confirmar que el prototipo cumple con los requisitos de seguridad y eficiencia para su aplicación prevista en la empresa Maxim Fishing S.A.S

### **Optimización y Ajustes**

La fase final del desarrollo del carro robótico se centró en la optimización rigurosa y el ajuste preciso de todos sus componentes y funcionalidades. Este proceso fue necesario para garantizar la máxima fiabilidad del prototipo en su operación dentro de entornos industriales confinados y potencialmente peligrosos, como los que se encuentran en la empresa Maxim Fishing S.A.S.

Inicialmente, se llevó a cabo una corrección de interferencias o fallos detectados durante las pruebas preliminares. Esto incluyó la mitigación de ruidos electrónicos que pudieran afectar la precisión de los sensores de gases (MQ-2, MQ-135), así como la solución de cualquier

intermitencia o pérdida de paquetes en el sistema de comunicación inalámbrica NRF24L01. Paralelamente, se implementaron filtros de software y hardware para asegurar la integridad de los datos transmitidos y la estabilidad del enlace de control.

Así mismo, se realizó un acondicionamiento físico integral del robot. Esto abarcó el desarrollo de un blindaje estratégico para proteger los componentes electrónicos internos de agentes externos como el polvo, la humedad y posibles impactos. Se puso especial énfasis en el aislamiento adecuado de todos los componentes eléctricos y electrónicos para prevenir cortocircuitos y asegurar la operatividad en condiciones adversas. Posteriormente se diseñó e implementó una carcasa anti chispa que cumple con los estándares de seguridad para ambientes potencialmente explosivos. Este diseño minimiza el riesgo de ignición de gases inflamables, una medida de seguridad indispensable para la operación en industrias como la de hidrocarburos.

Luego se procedió al ajuste fino de los algoritmos de navegación y control, se optimizaron parámetros clave como la velocidad de desplazamiento del robot, Se monitoreo las prácticas del personal en las pruebas de presión y la visualización de los equipos para verificar si se encontraba alguna fuga. Estos ajustes se realizaron mediante pruebas en un entorno simulado, buscando la máxima agilidad y fiabilidad en su movimiento y la correcta ejecución de las trayectorias predefinidas o controladas remotamente.

Una vez completadas las fases de optimización y ajuste, se inició la preparación de toda la documentación técnica detallada. Esta documentación es fundamental para asegurar la replicabilidad del prototipo, incluyendo diagramas de circuitos, código fuente comentado, listas de materiales y procedimientos de ensamblaje y calibración. Esta fase del proceso también es esencial para la validación final del prototipo con el usuario final, siendo este la empresa Maxim Fishing S.A.S. de la ciudad de Neiva. La documentación y registro de este proceso puede servir

como base para la capacitación del personal de la empresa sobre el funcionamiento, mantenimiento y capacidades del carro robótico, facilitando su integración en sus operaciones y procedimientos de seguridad actuales.

## Desarrollo Ingenieril

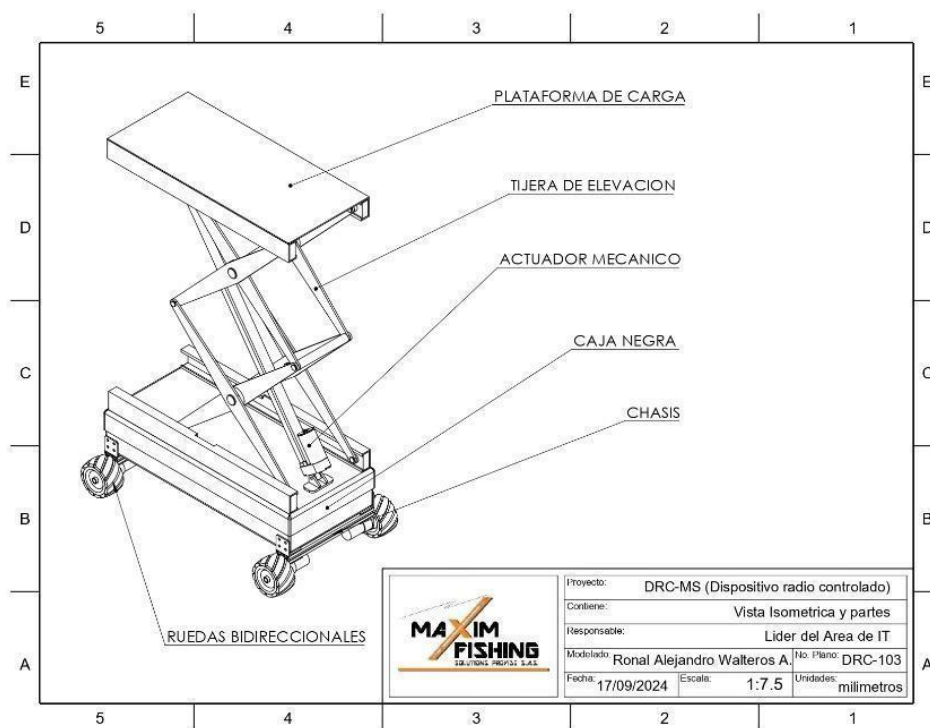
Para el desarrollo de la propuesta del carro robótico es necesario desarrollar una propuesta ingenieril, la cual es detallada a continuación.

### Diseño Estructural

El diseño estructural propuesto para este estudio tiene por objetivo proteger y soportar el carro robótico. En la figura 1 se expone de manera detallada el diseño isométrico por partes del prototipo en mención. (Ver figura 1).

### Figura 1

#### *Diseño Isométrico Por Partes Del Prototipo Robótico*



*Nota.* Autoría propia

Como se mencionó anteriormente, el diseño estructural propuesto para estudio tiene por propósito proteger y soportar el carro robótico atendiendo a las funciones específicas que este debe suplir. En la figura 2 se expone de manera detallada el diseño isométrico por secciones, visto desde la parte posterior del prototipo en mención (Ver figura 2).

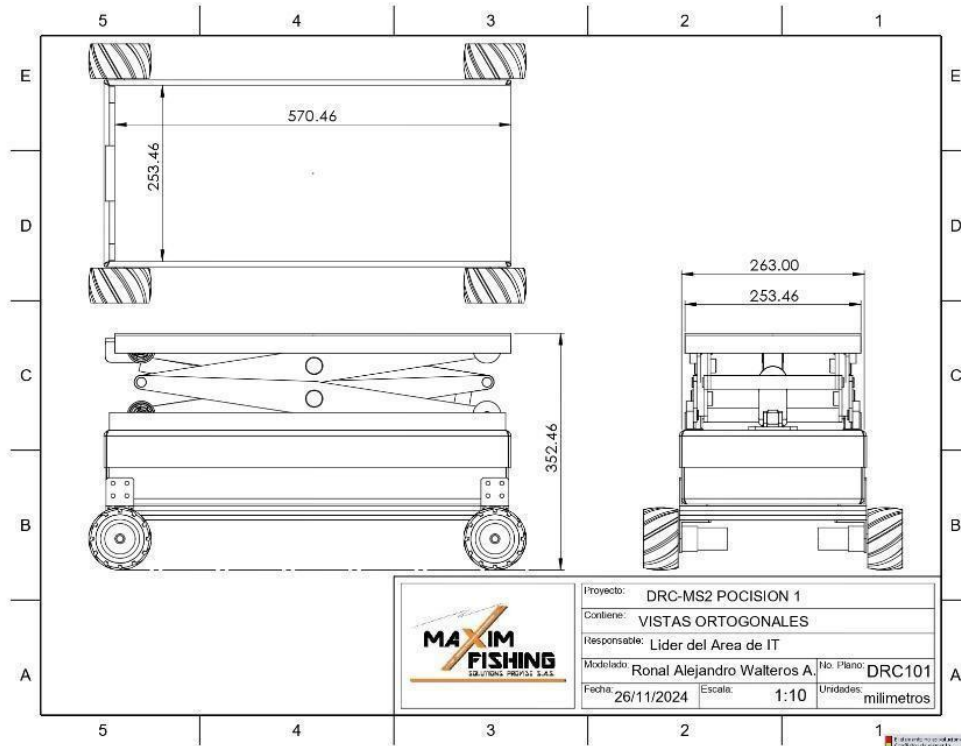
## Figura 2

### *Diseño Isométrico Por Partes Del Prototipo Robótico*



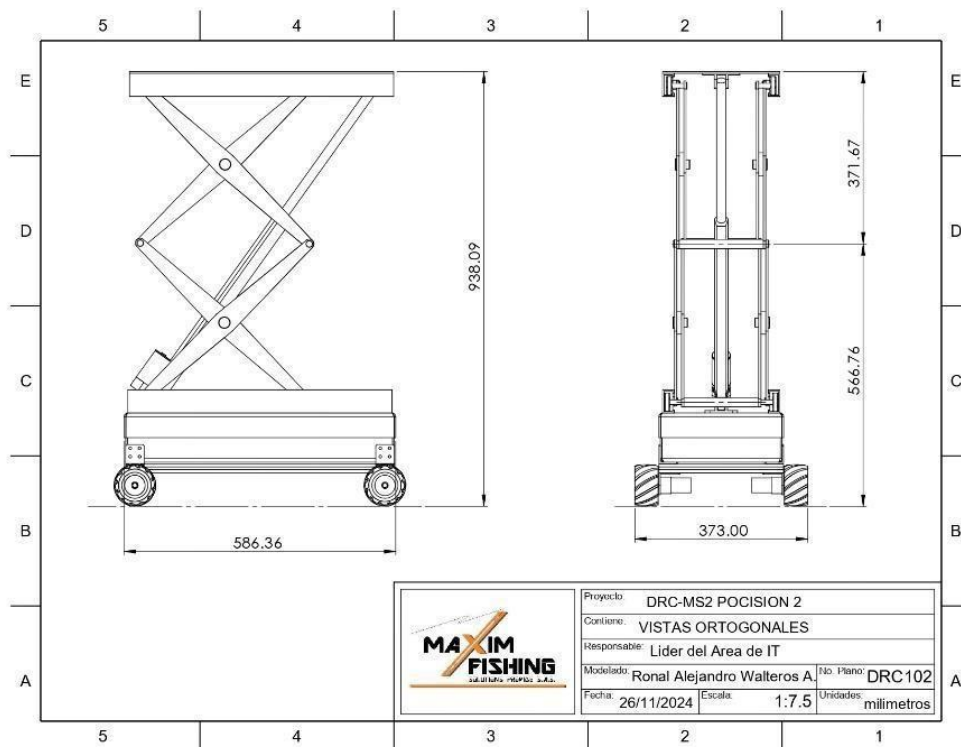
*Nota.* Autoría propia

El diseño estructural propuesto para el estudio debe tener una altura mínima de 35 cm. En la figura 3 se exponen las dimensiones físicas para el proyecto en mención. (Ver figura 3).

**Figura 3***Vistas Ortogonales Del Prototipo Robótico*

*Nota.* Autoría propia

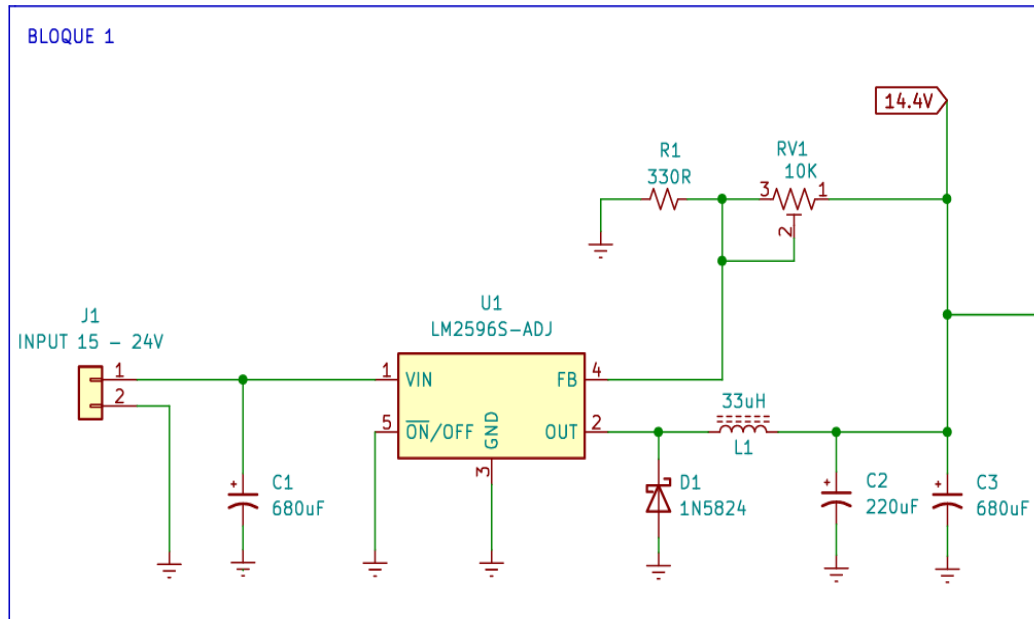
El diseño estructural propuesto para estudio debe tener una altura máxima de 95 cm. En la figura 4 se expone de manera detallada las dimensiones físicas para el proyecto en mención. (Ver figura 4).

**Figura 4***Vistas Ortogonales Del Prototipo Robótico*

*Nota.* Autoría propia

**Diseño del Circuito de Carga por Batería**

El diseño del carro robótico debe contar con un sistema electrónico de carga, donde este soporte corriente de pico de cinco amperios (5 A). Este sistema se ha diseñado en 3 bloques distintos. En la figura 1 se expone el diseño del circuito de carga bloque 1. El bloque 1 es un circuito de reducción de voltaje a 14.4 Voltios, este circuito se ha diseñado con la lógica de una fuente *Step Down*, el voltaje seleccionado de reducción es el voltaje de mantenimiento para baterías con un 50% de descarga (Ver figura 5).

**Figura 5***Diseño Del Circuito De Carga Bloque 1*

*Nota.* Autoría propia

Teniendo en cuenta el diseño propuesto para el bloque 1 se deben realizar los cálculos para hallar los valores de Tensión, Corriente, Capacidad de carga y Autonomía.

Las características para el diseño son las siguientes:

Voltaje de entrada ( $V_{in}$ ): 20V

Voltaje de salida ( $V_{out}$ ): 14.4V

Corriente de salida ( $I_{out}$ ): 5A

A continuación, se muestra la fórmula para el cálculo del Ciclo de Trabajo (D):

$$D = \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

Sustituyendo los valores:

$$D = \frac{20V}{14.4V} = 0.72$$

Por lo tanto, el ciclo de trabajo teórico es del 72%, esto quiere indicar que el carro robótico puede hacer uso del 72% correspondiente del 100% de la carga máxima de la batería.

### Selección de la Frecuencia de Conmutación (f)

El LM2596 tiene una frecuencia de conmutación interna fija de alrededor de 150 kHz (típicamente entre 135 kHz y 165 kHz según la hoja de datos), tal como se expone a continuación:

$$f \approx 150kHz$$

### Cálculo de la Inductancia (L)

Teniendo en cuenta que la inductancia es la medida de la oposición a un cambio de corriente de un inductor o bobina entonces se asume el 30% de la oposición de la corriente de salida, como se puede ver en la siguiente ecuación:

$$\Delta IL = 0.3 * I_{out} = 0.3 * 5A = 1.5A$$

A continuación, se indica el valor de la inductancia calculada:

$$L = \frac{V_{in} - V_{out}}{f * \Delta IL} * D = \frac{(20V - 14.4V)}{150,000Hz * 1.5A} * 0.72$$

$$L = \frac{5.6V}{225,000A/s} * 0.72 \approx 17.92\mu H$$

Ahora bien, en la siguiente ecuación se indica el valor de la corriente máxima soportada por el inductor de acuerdo a la inductancia hallada anteriormente, donde se nombra: corriente pico del inductor IL peak.

$$IL(peak) = I_{out} + \frac{\Delta IL}{2} = 5A + \frac{1.5A}{2} = 5A + 0.75A = 5.75A$$

Para el diseño del bloque 1, se requiere la selección de un Diodo de switcheo rápido de acuerdo a la frecuencia de trabajo del LM2596 (150 KHz), este diodo va en configuración Catch:

Alternadamente se deben tener en cuenta las siguientes condiciones de selección:

### ***Voltaje Inverso Pico (PIV)***

Debe ser mayor que el voltaje de entrada ( $V_{in}$ ), por ejemplo, 25V o 30V.

### ***Corriente Promedio***

Debe ser al menos la corriente de salida ( $I_{out}$ ), es decir, 5A o superior a esta medida eléctrica.

De acuerdo al mercado de componentes en Colombia y con las condiciones de trabajo expuestas anteriormente, se ha seleccionado el diodo con referencia 1N5824.

### **Cálculo del Condensador de Salida ( $C_{out}$ )**

Es importante aclarar que las fuentes con topología *Step Down* dan como voltaje de respuesta una señal impura caracterizada por producir mucho ruido, entonces se debe calcular el valor del condensador para realizar el filtrado de esta señal. En ese orden de ideas se asume la señal con un rizado del 1% en el voltaje de salida, tal como se expone la siguiente fórmula:

$$\Delta V_{out} = 0.01 * V_{out} = 0.01 * 14.4V = 0.144V$$

El valor del condensador para el rizado correspondiente a un valor de 0.144V de salida se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$C_{out} \approx \frac{\Delta I_L}{8 * f * \Delta V_{out}}$$

Sustituyendo los valores se halla que el valor del condensador es el siguiente:

$$C_{out} \approx \frac{1.5A}{8 * 150,000Hz * 0.144V} = \frac{1.5}{172,800} \approx 8.68\mu F$$

De manera paralela, se deben tener en cuenta las siguientes condiciones de selección:

### **Selección del Condensador de Entrada (Cin)**

El condensador de entrada ayuda a reducir el ruido de la corriente de entrada y proporciona energía al circuito durante la fase de conmutación, es por esto que se recomienda un condensador de bajo ESR. Un valor típico podría ser 100  $\mu$ F a 220  $\mu$ F con una clasificación de voltaje superior a  $V_{in}$ , por ejemplo, 25V o 35V, de acuerdo al mercado colombiano de componentes el valor más aproximado encontrado fue: 100uF/50V.

### **Resistencia de Retroalimentación (R1 y R2)**

Para que el LM2596 sostenga un voltaje de salida de 14.4V debe censar la salida del mismo, el voltaje de referencia interno ( $V_{ref}$ ) es típicamente de 1.23V.

La relación de las resistencias se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{out} = V_{ref} * \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

Despejando la ecuación para encontrar la relación R1/R2:

$$\frac{R1}{R2} = \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 = \frac{14.4V}{1.23V} - 1 = 11.71 - 1 = 10.71$$

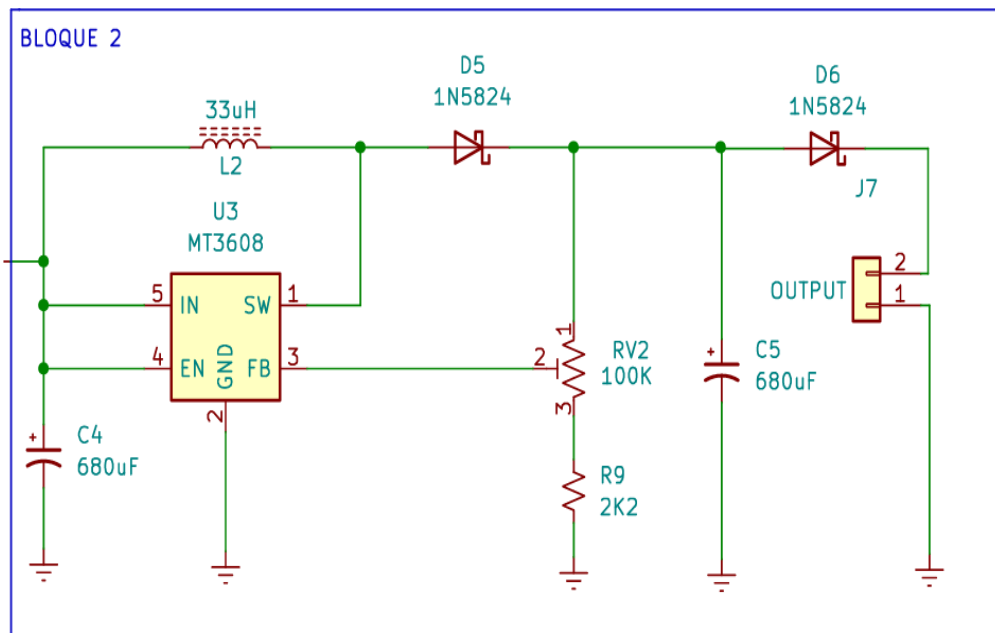
Se puede elegir un valor para R2, por ejemplo, 1 k $\Omega$ . Entonces, R1 sería:

$$R1 = R2 * 10.71 = 1k\Omega * 10.71 = 10.71k\Omega$$

Ahora bien, después de haber diseñado el circuito de carga donde se mantiene el voltaje de mantenimiento de las baterías (Bloque 1), se continúa con el diseño del circuito electrónico para la alimentación de las tarjetas de control y los motores de movilidad del carro, en la figura 6 se muestra el diseño correspondiente a el bloque 2. (Ver figura 6)

**Figura 6**

*Diseño Del Circuito De Carga Bloque 2*



*Nota.* Autoría propia

Al igual que en el bloque 1 se realizaron los cálculos para hallar los valores de Tensión, Corriente, Capacidad de carga y Autonomía.

Se precisa que las características para el diseño son las siguientes:

Voltaje de entrada ( $V_{in}$ ): 12V

Voltaje de salida ( $V_{out}$ ): 20V

Corriente de salida ( $I_{out}$ ): 5A

### **Cálculo del Ciclo de Trabajo (D)**

En un convertidor Boost, el ciclo de trabajo representa la fracción del tiempo en que el

interruptor permanece cerrado. Este parámetro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

Sustituyendo los valores:

$$D = 1 - \frac{12V}{20V} = 1 - 0.6 = 0.4$$

Esto indica que el ciclo de trabajo es del 40%, lo cual es una condición típica en aplicaciones donde se requiere una elevación moderada del voltaje. Un ciclo de trabajo en este rango asegura eficiencia y buena regulación de salida para alimentar las tarjetas de control.

### **Selección de la Frecuencia de Conmutación (f):**

La frecuencia de conmutación del MT3608 es aproximadamente:

$$F = 1 \text{ MHz}$$

Este valor corresponde a la frecuencia nominal de operación del convertidor LM2596 (u otro similar), y ha sido seleccionada con base en el balance entre tamaño de los componentes pasivos, eficiencia y facilidad de disipación térmica.

### **Cálculo de la Inductancia (L)**

En un primer momento, se estimó la corriente de entrada promedio ( $I_{in}$ ), partiendo de que la potencia de entrada es igual a la potencia de salida en condiciones ideales, a continuación, se expone el valor de la corriente teniendo en cuenta iguales valores para potencia y voltaje:

$$P_{in} = P_{out}$$

$$V_{in} * I_{in} = V_{out} * I_{out}$$

$$I_{in} = \frac{V_{out} * I_{out}}{V_{in}} = \frac{20V * 5A}{12V} \approx 8.33A$$

Posteriormente, se definió la ondulación de corriente del inductor ( $\Delta IL$ ) como el 30% de esa corriente promedio:

$$\Delta IL = 0.3 * I_{in} = 0.3 * 8.33A \approx 2.5A$$

De otro lado, la inductancia se calculó con la siguiente ecuación:

$$L = \frac{V_{in} * D}{f * \Delta IL}$$

Una vez definida la ecuación se procedió a sustituir los valores de las características para el diseño del bloque 2:

$$L = \frac{12V * 0.4}{1,000,000Hz * 2.5A} = \frac{4.8}{2,500,000} \approx 1.92\mu H$$

Este valor hallado, permitió garantizar una operación estable del convertidor con un rizado de corriente dentro de límites aceptables.

Una vez efectuado este proceso, se calculó la corriente máxima que circularía por el inductor para asegurar que no entre en estado de saturación:

La corriente pico del inductor  $I_{L \text{ peak}}$ :

$$I_{L(peak)} = I_{in} + \frac{\Delta IL}{2} = 8.33A + \frac{2.5A}{2} = 8.33A + 1.25A = 9.58A$$

Por tanto y teniendo en cuenta lo expuesto en la anterior ecuación, el conductor

seleccionado debe ser capaz de manejar como mínimo 9.58 A sin perder su comportamiento magnético.

Para el diseño del bloque 2, se requiere la selección de un Diodo de switcheo rápido de acuerdo a la frecuencia de trabajo del MT3608 (1 MHz), este diodo va en configuración Avalancha:

Alternadamente se deben tener en cuenta las siguientes condiciones de selección para lograr el funcionamiento adecuado del MT3608:

#### ***Voltaje Inverso Pico (PIV)***

Debe ser mayor que el voltaje de entrada ( $V_{in}$ ), por ejemplo, 25V o 30V.

#### ***Corriente Promedio***

Debe ser al menos la corriente de salida ( $I_{out}$ ), es decir, 9.5A o superior a esta medida eléctrica.

De acuerdo al mercado de componentes en Colombia y con las condiciones de trabajo expuestas anteriormente, se ha seleccionado el diodo con referencia 1N5824 ya que este es el más pertinente para este caso y adicionalmente es el único que se encuentra en circulación dentro del mercado nacional.

#### **Cálculo del Condensador de Salida ( $C_{out}$ )**

Para garantizar una salida con baja ondulación en un convertidor conmutado, es necesario dimensionar adecuadamente el condensador de salida. Este componente filtra el rizado generado por los pulsos de conmutación del circuito, permitiendo mantener un voltaje más estable para la carga conectada.

El valor de este condensador puede estimarse utilizando la siguiente expresión, que depende del ciclo de trabajo, la frecuencia de conmutación, la corriente de salida y el rizado de voltaje permitido:

Se asumió un rizado de voltaje del 1% de la salida, tal como se expone en la siguiente fórmula:

$$\Delta V_{out} = 0.01 * V_{out} = 0.01 \cdot 20V = 0.2V$$

El valor del condensador de salida se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$C_{out} = \frac{I_{out} * D}{f * \Delta V_{out}}$$

Sustituyendo los valores:

$$C_{out} = \frac{5A * 0.4}{1,000,000Hz * 0.2V} = \frac{2}{200,000} = 10\mu F$$

### **Selección del Condensador de Entrada (Cin)**

El condensador de entrada es igualmente importante, ya que su función es amortiguar las variaciones rápidas de corriente durante los ciclos de conmutación y minimizar el rizado en el voltaje de entrada del convertidor. Este comportamiento mejora la eficiencia general del sistema y protege los componentes activos.

Para esta aplicación, se usó un condensador de bajo ESR con un valor comprendido entre 10  $\mu F$  y 22  $\mu F$ , según prácticas de diseño comunes para reguladores conmutados. Además, su tensión de trabajo se definió en un nivel superior al voltaje de entrada ( $V_{in} = 12V$ ).

### Resistencia de Retroalimentación (R1 y R2)

En los convertidores *Step-Up* como el diseñado en este bloque, el voltaje de salida se controló mediante una red de retroalimentación conformada por un divisor resistivo. Esta red se caracteriza por tomar una fracción del voltaje de salida, comparándola con una referencia interna del regulador.

En este caso, el circuito se basa en un regulador con un voltaje de referencia interno ( $V_{ref}$ ) de 0.6 V. Para lograr un voltaje de salida deseado ( $V_{out}$ ) de 20 V.

para ejecutar el proceso anterior se utilizó la siguiente fórmula:

$$V_{out} = V_{ref} * \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

Despejando la ecuación para encontrar la relación  $R1/R2$ , se identificó el valor real de la relación entre  $R1$  Y  $R2$ :

$$\frac{R1}{R2} = \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 = \frac{20V}{0.6V} - 1 = 33.33 - 1 = 32.33$$

Una vez calculada esta relación, se seleccionó un valor estándar para  $R2$  el cual facilitó la implementación práctica del divisor. En la siguiente ecuación se asumió el valor de  $R1= 10K$  cumpliendo con el valor hallado anteriormente.

$$R1 = R2 * 32.33 = 10k\Omega * 32.33 = 323.3k\Omega$$

Este valor nos indicó que el voltaje de salida se mantuvo en 20 V, como lo exige el diseño del sistema.

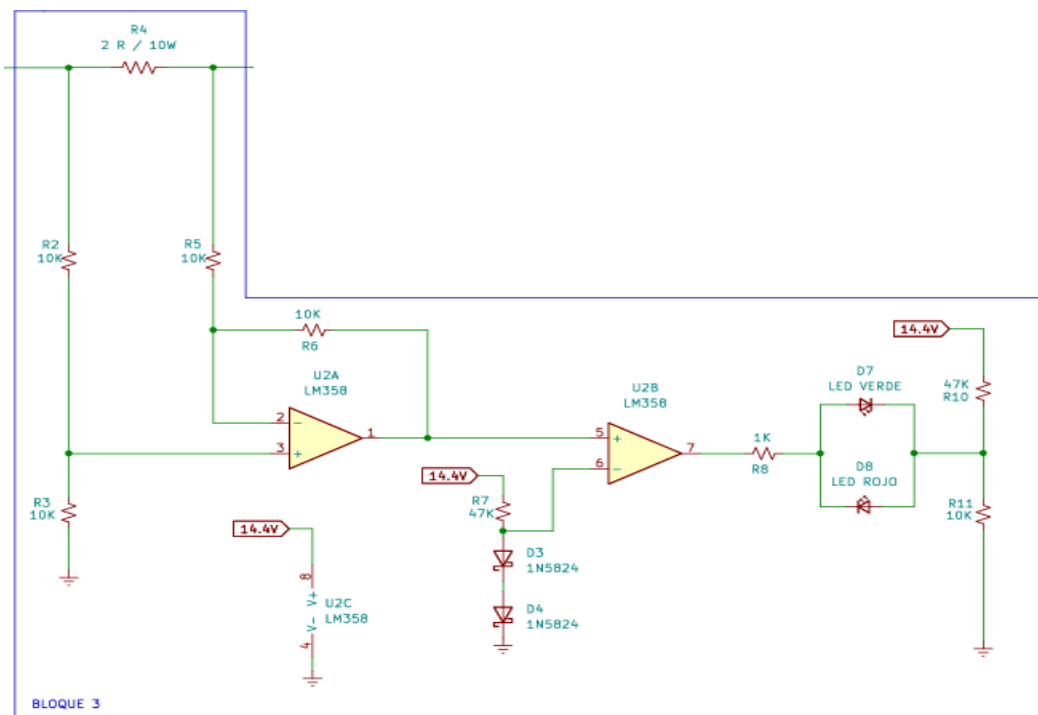
### Diseño del Circuito de Carga – Bloque 3

Con el objetivo de continuar con el desarrollo del sistema electrónico de carga para el carro robótico, dividido en tres bloques funcionales, en la figura 7 se expone el diseño del circuito de carga bloque 3.

El bloque 3 es un circuito de control e indicación del estado de carga, diseñado con lógica comparativa mediante amplificadores operacionales y diodos Zener, con el fin de señalar visualmente si la batería se encuentra cargada o por debajo del umbral mínimo operativo (Ver figura 7).

**Figura 7**

*Diseño Del Circuito De Carga Bloque 3*



*Nota. Autoría propia*

### **Análisis Teórico del Bloque 3**

El Bloque 3 es un circuito de control e indicación del estado de carga de la batería del carro robótico, cuya finalidad es identificar, mediante comparadores analógicos y señales visuales, si la tensión de la batería se encuentra dentro de los rangos definidos como seguros (carga completa o carga baja).

Este análisis es fundamental para prevenir condiciones de sobrecarga o descarga profunda, que podrían reducir la vida útil de la batería o afectar la operación del sistema.

### **Sección del Amplificador Operacional U2**

El componente U2A, correspondiente a uno de los amplificadores del circuito integrado LM358, se configuró para trabajar como comparador de tensión, lo cual permite cotejar y equiparar una señal de entrada variable contra una referencia fija. Esta operación se basa en el siguiente principio:

Si la entrada no inversora (+) es mayor que la entrada inversora (-):

La salida de U2A tenderá a su voltaje máximo (positivo), activando el componente conectado a su salida.

Si la entrada no inversora (+) es menor que la entrada inversora (-):

La salida de U2A tenderá a su voltaje mínimo (cercano a tierra), apagando o desactivando el dispositivo de salida. Este comportamiento es clave para generar la lógica de encendido/apagado de los indicadores luminosos del sistema de monitoreo de carga.

A continuación, se presentan las dos condiciones de trabajo necesarias para el adecuado funcionamiento del comparador.

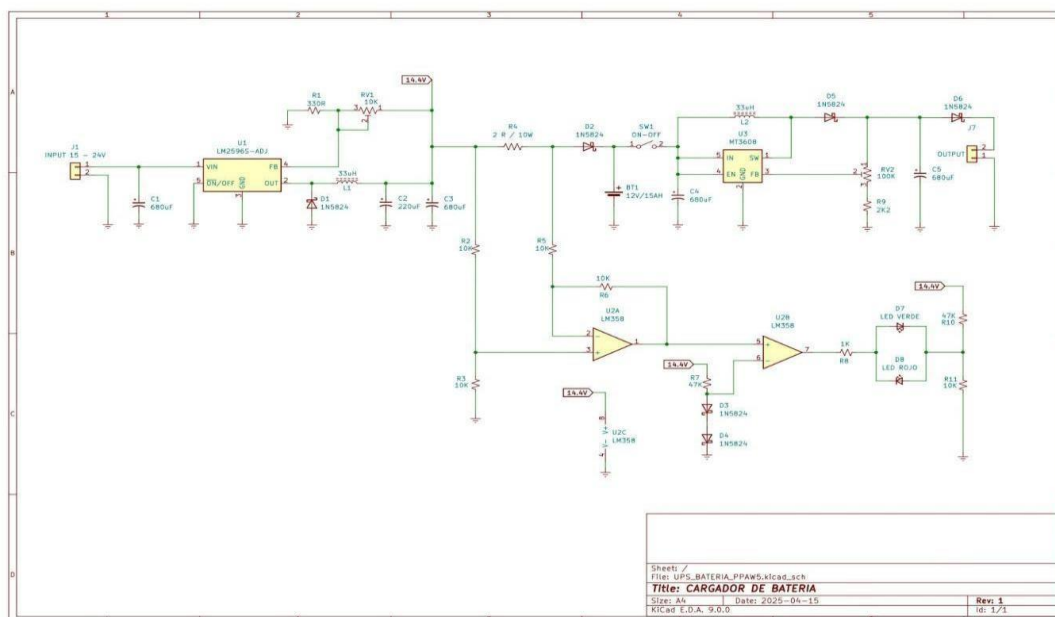
1. Si:  $V_+ > V_-$ , la salida de U3A tenderá a su voltaje máximo.
2. Si:  $V_+ < V_-$ , la salida de U3A tenderá a su salida un voltaje mínimo.

## Diseño del Circuito de Carga

Continuando con el desarrollo de este proceso, En la figura 8 se expone el diseño del circuito de carga completo, donde se integran los tres bloques: reducción de voltaje, elevación de voltaje e indicación del estado de carga. (Ver figura 8).

**Figura 8**

### Diseño Del Circuito De Carga Bloque Completo

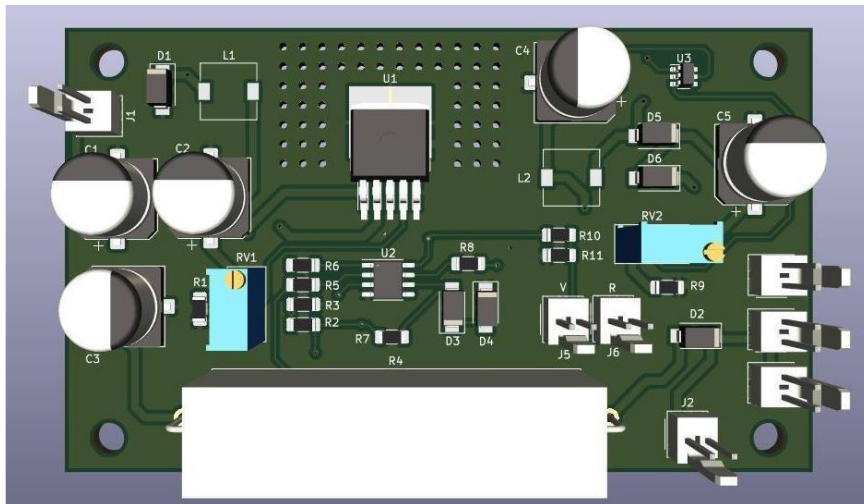


*Nota.* Autoría propia

En la figura 9 se expone el diseño del modelado del circuito electrónico de carga realizado en el software de diseño gratis Kicad V9.0, el cual integra los componentes previamente definidos, distribuidos sobre una tarjeta PCB que facilita su ensamblaje y conexión al sistema principal del carro robótico (Ver figura 9).

**Figura 9**

*Diseño 3D Circuito Electrónico De Carga*



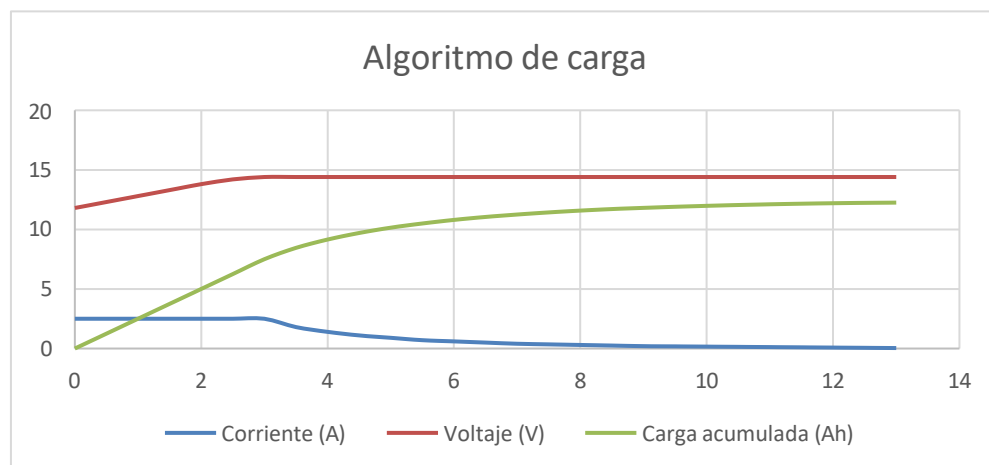
*Nota.* Autoría propia

### **Prueba de Carga de las Baterías**

El diseño del sistema electrónico de carga debe validar su desempeño mediante pruebas reales de comportamiento eléctrico. En la figura 10 se presenta la gráfica de comportamiento del algoritmo de carga de las baterías, donde se identificó la relación entre corriente, voltaje y carga acumulada, a lo largo del tiempo durante el proceso de carga completo de la batería del carro robótico (Ver figura 10).

**Figura 10**

*Gráfica de Comportamiento Del Algoritmo De Carga de Las Baterías*



*Nota. Autoría propia*

La tabla 1 presenta los datos obtenidos durante la prueba de carga, donde se registró el comportamiento de la corriente, el voltaje y la carga acumulada a lo largo del tiempo que se requirió para efectuar una carga completa de la batería del carro robótico. Estos datos permiten verificar el cumplimiento del algoritmo de carga diseñado (Ver tabla 1).

**Tabla 1**

*Relación Del Proceso De Carga De Las Baterías.*

Tiempo (h)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Carga acumulada (Ah)
0	2,5	11,8	0
0,5	2,5	12,3	1,25
1	2,5	12,8	2,5
1,5	2,5	13,3	3,75
2	2,5	13,8	5

---

2,5	2,5	14,2	6,25
3	2,5	14,4	7,5
3,5	1,8	14,4	8,45
4	1,4	14,4	9,15
4,5	1,1	14,4	9,7
5	0,9	14,4	10,15
5,5	0,7	14,4	10,5
6	0,6	14,4	10,8
6,5	0,5	14,4	11,05
7	0,4	14,4	11,25
7,5	0,35	14,4	11,43
8	0,3	14,4	11,58
8,5	0,25	14,4	11,71
9	0,2	14,4	11,81
9,5	0,18	14,4	11,9
10	0,16	14,4	11,98
10,5	0,14	14,4	12,05
11	0,12	14,4	12,11
11,5	0,1	14,4	12,16
12	0,08	14,4	12,2
12,5	0,06	14,4	12,23
13	0,04	14,4	12,25

---

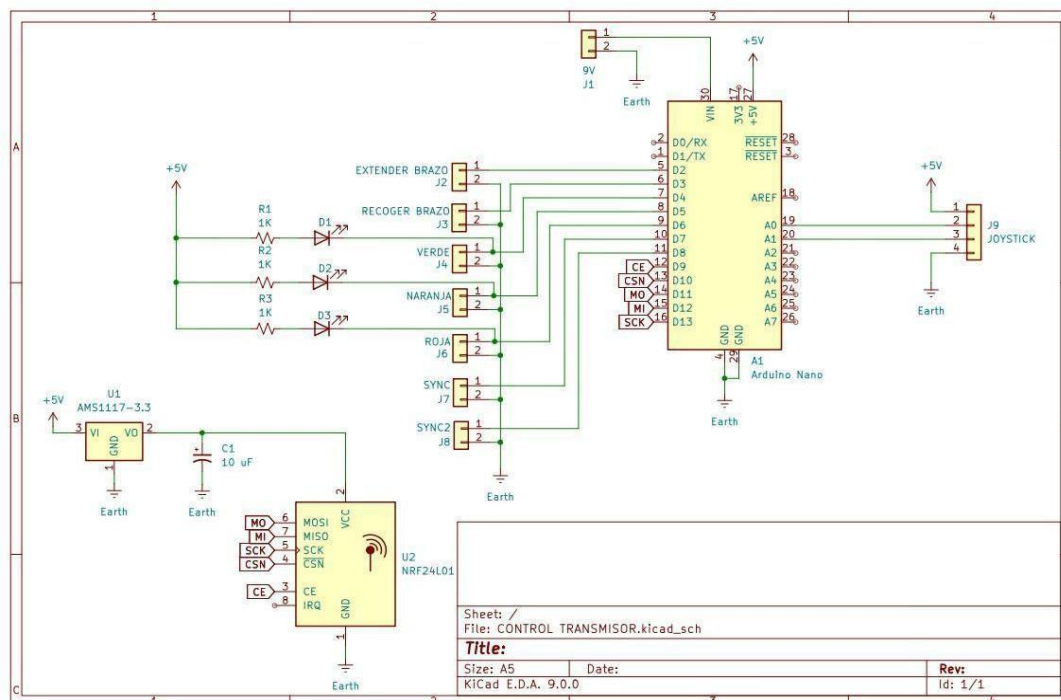
*Nota. Se expone el tiempo de carga acumulada, corriente y voltaje de las baterías.*

## Sistema de Control

El sistema de control diseñado para poner en funcionamiento el carro robótico, emplea una placa Arduino Nano y un módulo de comunicación nRF24L01, permitiendo el envío de señales a un receptor remoto. El objetivo principal del circuito fue facilitar el control a distancia de actuadores y relés, así como de un sistema móvil. Para ello, En la Figura 11 se puede observar el diseño electrónico mencionado anteriormente. (ver figura 11).

### Figura 11

*Diagrama Electrónico Del Sistema de Control.*



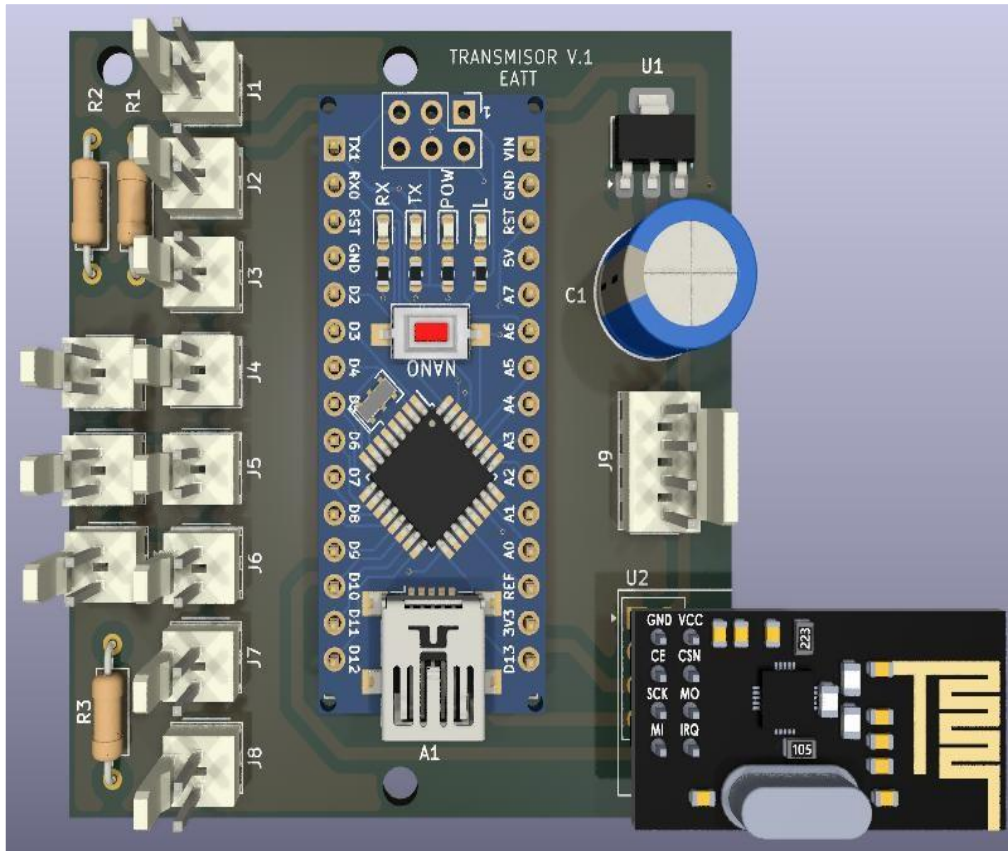
*Nota.* Autoría propia

El diseño contó con un sistema de control visualmente compacto e integrado. En la figura 12 se muestra el diseño 3D del sistema de control, donde se observa el montaje del microcontrolador Arduino Nano, el módulo de comunicación NRF24L01 y los conectores para

los dispositivos de entrada, todo dispuesto sobre una PCB optimizada para transmisión inalámbrica eficiente y operación ergonómica (Ver figura 12).

### Figura 12

*Sistema de Control 3D.*



*Nota.* Autoría propia

### Descripción General del Circuito

El circuito de control está configurado por los siguientes bloques funcionales:

Microcontrolador: Arduino Nano.

Transceptor inalámbrico: nRF24L01.

Entradas de control: Joystick (2 ejes analógicos) y 6 entradas digitales (botones y *switches*).

Regulación de voltaje: AMS1117-3.3 para alimentar el módulo nRF24L01.

Alimentación general: 5 V.

Este conjunto de bloques permitió establecer un sistema de control inalámbrico para la operación del carro robótico, con capacidad de lectura analógica y digital, y transmisión por radiofrecuencia de los comandos generados.

### **Análisis Eléctrico y Matemático**

A continuación, se exponen las consideraciones eléctricas y matemáticas tenidas en cuenta para ejecutar el diseño del control de carro robótico.

#### ***Regulación de Voltaje***

El módulo nRF24L01 opera a 3.3 V. Por ello, se incluyó un regulador AMS1117-3.3, el cual tiene la capacidad de convertir la alimentación general del sistema (5 V) al nivel requerido por el módulo inalámbrico. Este regulador asegura un suministro estable y continuo, evitando sobrecargas que puedan dañar el circuito de comunicación.

Adicional a todo lo anterior, se precisa que la ley de Ohm se aplicó para hallar el valor del consumo de corriente de los indicadores leds:

Para la indicación del estado de los sistemas mediante Leds, es necesario limitar la corriente que circula a través de ellos, de forma que no se excedan los 20 mA, valor típico de operación segura para este tipo de componentes.

Para calcular el valor adecuado de la resistencia limitadora, se emplea la Ley de Ohm, considerando una caída de tensión típica en el LED de 2 V de acuerdo a su hoja de datos técnica, teniendo en cuenta la fuente de alimentación del sistema que es de 5 V:

$$I=(V_{in}-V_{led})/R$$

$$0,02A=(5V-2V)/R$$

$$R=3V/0,02A=150\text{ Ohm}$$

De Acuerdo al cálculo anterior, se pudo definir que lo ideal es hacer uso de una resistencia de 150  $\Omega$  en serie con cada LED para asegurar su funcionamiento adecuado y evitar daños por exceso de corriente.

Se señala que para este proceso fue necesario agregar un condensador de desacoplo de 10  $\mu$ F/10V para filtrar picos de corriente en la alimentación del módulo de comunicación nRF24L01.

### ***Señales Analógicas***

Para el adecuado funcionamiento del carro robótico propuesto por la presente investigación fue necesario articular el uso de señales analógicas; estas fueron leídas en los pines A0 y A1 del Arduino Nano, los cuales están configurados para leer las señales provenientes del joystick. Este último registró un voltaje variable entre 0 V y 5 V, dependiendo de la posición de sus ejes (x, y).

El ADC (Convertidor Analógico a Digital) incorporado en el microcontrolador. convierte estas señales analógicas a valores digitales entre 0 y 1023, permitiendo su procesamiento dentro del código del sistema de control. Para obtener el voltaje equivalente en función del valor leído

por el ADC, se aplicó la siguiente fórmula:

$$V_{in} = (ADC * 5V) / 1023$$

En este diseño, el voltaje de entrada leído se utilizó para calcular un voltaje de control proporcional, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_{control} = V_{in} / 2$$

### ***Comunicación SPI y RF***

El módulo nRF24L01 se comunica con el microcontrolador Arduino Nano a través del protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), el cual permite el envío y recepción de datos a alta velocidad entre dispositivos digitales.

Los pines utilizados en esta configuración son los siguientes:

MOSI (Master Out Slave In) – Pin 11

MISO (Master In Slave Out) – Pin 12

SCK (Serial Clock) – Pin 13

CSN (Chip Select Not) – Pin 10

CE (Chip Enable) – Pin 9

La comunicación fue gestionada por la librería RF24 de Arduino, posibilitando configurar el módulo fácilmente y estableciendo parámetros como el canal de frecuencia, la velocidad de transmisión, las direcciones de destino y origen, y los modos de operación (receptor

o transmisor).

La librería RF24 configuró los parámetros necesarios para la comunicación entre el transmisor y el receptor del sistema, estableciendo los siguientes valores:

Dirección de envío: "00001"

Velocidad de transmisión: 250 kbps

Potencia de transmisión: Baja (para minimizar consumo y evitar interferencia en corto alcance)

Esta configuración garantizó una transmisión estable de datos entre el Arduino Nano y el módulo NRF24L01, optimizada para entornos de bajo ruido y consumo energético reducido.

Se enviaron 8 variables codificadas en una cadena, utilizando la función *sprintf*, la cual permitió construir un paquete de datos estructurado para ser transmitido eficientemente, a continuación, se presenta la forma del envío de datos en cadena para el proceso de gestión de movimiento del carro:

```
DataToSend = sprintf(x,y,r1,r2,r3,r4,r5,r6)
```

Donde los valores enviados:

$x, y \in [0, 1023]$  representan valores analógicos leídos desde el joystick (A0 y A1).

$r \in \{0, 1\}$  son valores digitales correspondientes a botones o *switches*.

Esta estructura compacta de datos permitió que todos los comandos del control (analógicos y digitales) fueran transmitidos en un solo paquete, facilitando su recepción y decodificación en el lado del receptor.

A continuación, se desglosa el código fuente que fue diseñado para el control del transmisor del carro robótico.

## Código Fuente Control Transmisor

```
#include <SPI.h>

#include <nRF24L01.h>

#include <RF24.h>

RF24 radio(9, 10); // CE, CSN

const byte address[6] = "00001";

#define JOY_X A0

#define JOY_Y A1

#define BTN_EXTENDER 2

#define BTN_RECOGER 3

#define SW_VERDE 4

#define SW_NARANJA 5

#define SW_ROJA 6

#define SW_CARRO 7

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(BTN_EXTENDER, INPUT_PULLUP);

  pinMode(BTN_RECOGER, INPUT_PULLUP);
```

```
pinMode(SW_VERDE, INPUT_PULLUP);  
pinMode(SW_NARANJA, INPUT_PULLUP);  
pinMode(SW_ROJA, INPUT_PULLUP);  
pinMode(SW_CARRO, INPUT_PULLUP);  
  
radio.begin();  
radio.setPALevel(RF24_PA_LOW);  
radio.setDataRate(RF24_250KBPS);  
radio.openWritingPipe(address);  
radio.stopListening();  
}
```

```
void loop() {  
    int xVal = analogRead(JOY_X);  
    int yVal = analogRead(JOY_Y);  
  
    int rele1 = !digitalRead(BTN_EXTENDER);  
    int rele2 = !digitalRead(BTN_RECOGER);  
    int rele3 = !digitalRead(SW_VERDE);  
    int rele4 = !digitalRead(SW_NARANJA);  
    int rele5 = !digitalRead(SW_ROJA);  
    int rele6 = !digitalRead(SW_CARRO);
```

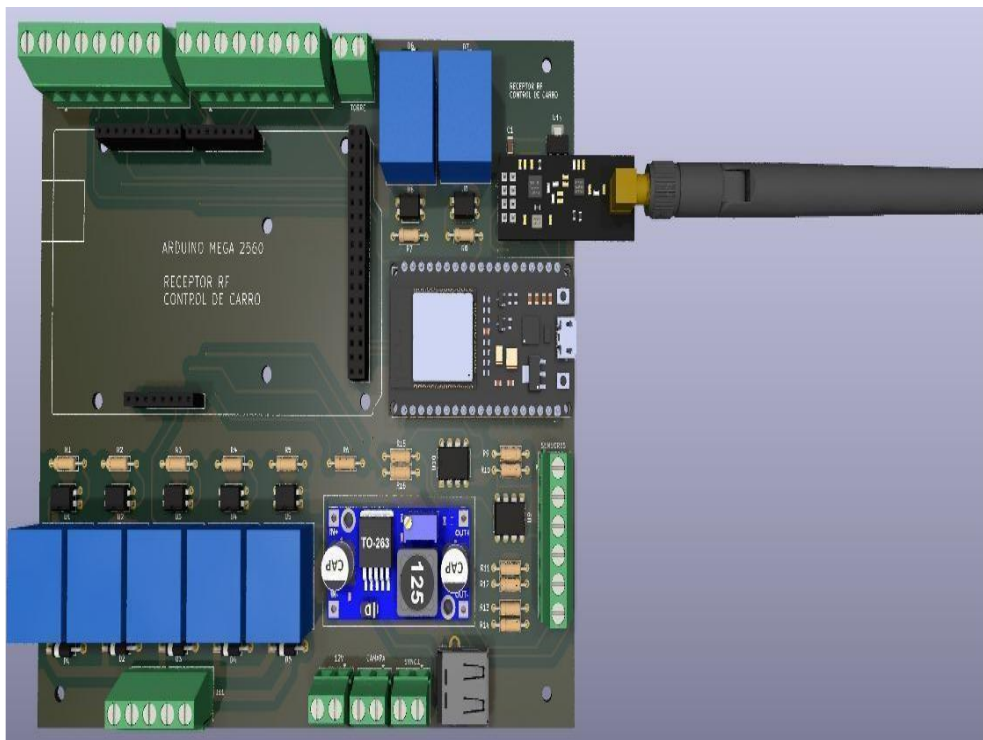
```
char dataToSend[32];  
  
snprintf(dataToSend, sizeof(dataToSend), "%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d",  
         xVal, yVal, rele1, rele2, rele3, rele4, rele5, rele6);  
  
radio.write(&dataToSend, sizeof(dataToSend));  
  
Serial.println(dataToSend);  
  
delay(50);  
  
}
```

## **Análisis Técnico y Funcional del Circuito Electrónico Receptor con Arduino Mega y NRF24L01**

El circuito receptor, construido a partir de una placa Arduino Mega y un módulo de radiofrecuencia NRF24L01, tuvo como principal función recibir de forma inalámbrica de los datos enviados por el transmisor y ejecutar las acciones correspondientes en el sistema robótico.

Este sistema receptor permitió controlar tanto el movimiento del vehículo robótico mediante la gestión de motores, como la activación de relés, los cuales están destinados al encendido de luces y otros actuadores eléctricos conectados.

La figura 13 presenta el modelado 3D del circuito electrónico receptor, donde se visualizan claramente los componentes principales, siendo estos: la placa Arduino Mega, el módulo NRF24L01 y la distribución de terminales de salida para relés, actuadores y alimentación, todo dispuesto de manera armónica, equilibrada y estratégica sobre una PCB organizada para facilitar el montaje y la operación en campo (Ver figura 13).

**Figura 13***Circuito Electrónico Receptor 3D*

*Nota.* Autoría propia

**Descripción del Circuito**

Este sistema receptor cumple las siguientes funciones principales:

Recepción inalámbrica de datos enviados por el transmisor, utilizando el módulo NRF24L01.

Control de motores DC mediante el puente H L298N, permitiendo el desplazamiento del vehículo robótico en las direcciones: adelante, atrás, izquierda o derecha.

Activación de relés para el control de cargas externas:

2 relés momentáneos, destinados al manejo de la plataforma de elevación.

4 relés permanentes, utilizados para el encendido de luces y otros actuadores del sistema.

Componentes Clave:

Arduino Mega 2560: Microcontrolador central que procesa los datos recibidos y ejecuta las salidas de control.

Módulo NRF24L01: Dispositivo de comunicación inalámbrica que opera mediante protocolo SPI.

Relés: Permiten controlar cargas externas como luces, válvulas o actuadores eléctricos.

Puentes H (L298N): Se encargan de regular la dirección y velocidad de los motores DC conectados al sistema.

### **Análisis Eléctrico y Funcional**

En el siguiente apartado se exponen las funciones de la comunicación inalámbrica efectuada entre el carro robótico y el control de mando.

#### ***Comunicación Inalámbrica***

El sistema receptor del carro robótico recibe una cadena de 8 valores transmitida de forma inalámbrica por medio del módulo de radiofrecuencia desde el control de mando.

En el siguiente apartado se explican el tipo de dato y su comportamiento:

Valores x, y: Son los valores análogos recibidos del joystick, estos se interpretaron como el valor indicado para las coordenadas estipuladas en el plano cartesiano, los datos corresponden

a valores analógicos entre 0 y 1023.

r1 a r6: Son los switches de estado los cuales controlan las ejecuciones del carro robótico, para su trabajo correcto.

Se precisa que el código implementado en el Arduino Mega divide esta cadena y asigna cada valor a una variable distinta comprendida entre los valores x, y, y los relees (r1 a r6).

### **Control de Relés**

La gestión de relés, indispensable para la ejecución física electromecánica del carro, se organiza de la siguiente forma:

RELE 1 y RELE 2: Controlan el brazo robótico y se configuran como momentáneos, activándose solo durante el tiempo en que el botón correspondiente está presionado.

RELE3 a RELE6: Están asignados al control de luces del sistema y funcionan como permanentes, manteniendo su estado hasta que se recibe un nuevo comando.

La activación de cada relé se realiza utilizando la instrucción:

```
digitalWrite(pin,estado)
```

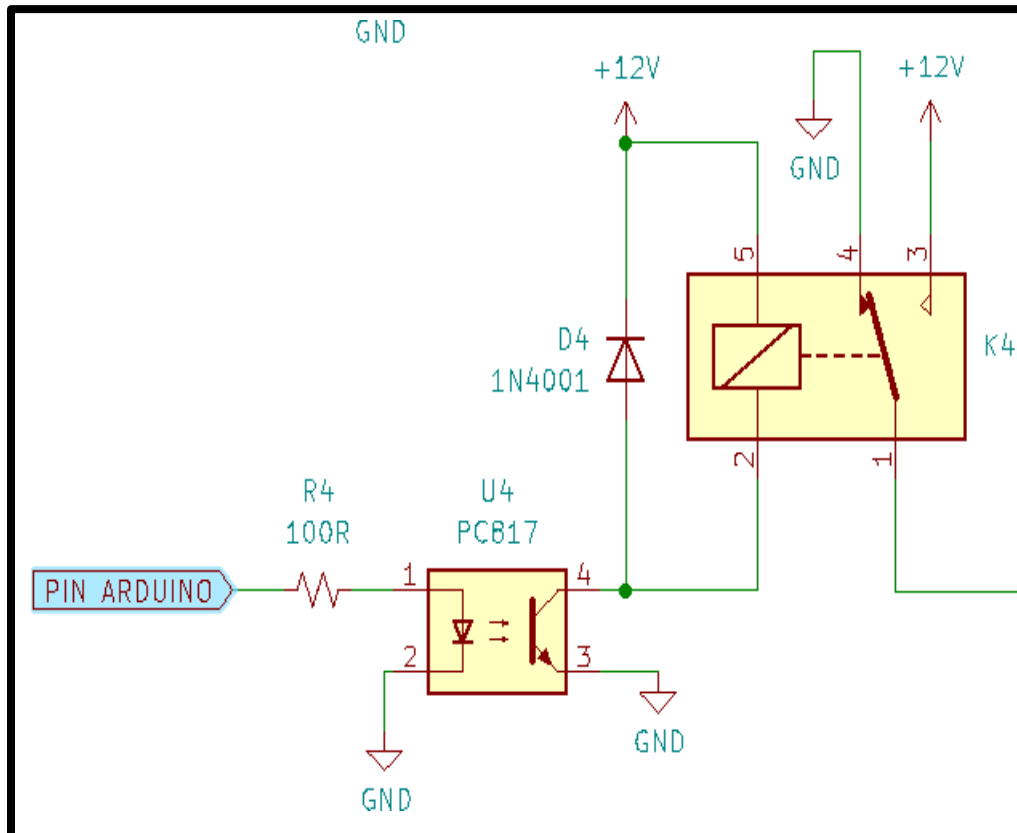
Donde pin es el número de pin digital configurado para el relé, estado es el valor lógico (HIGH o LOW) recibido desde el transmisor a través de la cadena de datos.

Así mismo este diseño debe contar con un sistema de control de potencia para manejar cargas externas. En la figura 14 se expone el diseño del circuito electrónico de activación de relés. Este circuito ha sido diseñado con un optoacoplador para garantizar aislamiento entre el

microcontrolador y el relé, y con un diodo de protección para manejar los picos de voltaje generados por la bobina (Ver figura 14).

**Figura 14**

*Diagrama Electrónico Del Relé.*



*Nota.* Autoría propia

Se utiliza el optoacoplador PC817, el cual incluye un LED infrarrojo interno que debe ser alimentado correctamente para garantizar su funcionamiento. Según su ficha técnica, el LED interno requiere una alimentación de 3 V con una corriente máxima recomendada de 30 mA.

En ese orden de ideas, para limitar dicha corriente desde una fuente de 5 V, se calcula la resistencia serie necesaria aplicando la Ley de Ohm, que se expone a continuación:

$$V_R = V_{fuente} - V_{led} \gg V_R = 5V - 2V = 3V$$

Entonces:

$$R = \frac{V_R}{I_{led}} = \frac{3V}{0.03A} = 100ohm$$

Por lo tanto, se seleccionó una resistencia de 100  $\Omega$  en serie con el pin de control del optoacoplador para asegurar una corriente segura y efectiva de activación.

### Control de Motores

Los motores están conectados a través de puentes H, permitiendo el control individual de cada rueda del sistema robótico. Para ello, se utilizan los siguientes pines de control:

4 canales digitales de dirección: IN1–IN8

4 pines PWM de velocidad: ENA, ENB, ENC, END

El sistema interpreta las coordenadas del joystick (valores de x, y) para determinar la dirección y el sentido de movimiento del vehículo. Las condiciones de interpretación son las siguientes:

Si x y y están cerca del centro del rango analógico → detenido

Si y > centro + umbral → avanza

Si y < centro - umbral → retrocede.

Si  $x > \text{centro} + \text{umbral}$  → gira a la derecha.

Si  $x < \text{centro} - \text{umbral}$  → gira a la izquierda.

En esta parte del proceso, se hace importante señalar que, para controlar la velocidad de los motores, se aplica la función `map()` de Arduino, la cual convierte los valores leídos del joystick (entre 0 y 1023) en valores de modulación por ancho de pulso (PWM) entre 0 y 255, permitiendo una regulación proporcional de la velocidad de cada motor según el desplazamiento del joystick.

A continuación, se presenta el código fuente diseñado para el receptor del carro robótico, el cual permitió la movilidad y la ejecución de comandos para los actuadores electromecánicos.

### **Código Fuente Receptor (Arduino Mega)**

```
#include <SPI.h>

#include <nRF24L01.h>

#include <RF24.h>

RF24 radio(9, 10);

const byte address[6] = "00001";

char receivedData[32];

int xAxis = 0, yAxis = 0;

int rele[6] = {0, 0, 0, 0, 0, 0};

const int xCenter = 500;
```

```
const int yCenter = 500;
```

```
// Pines de motores (4 ruedas)
```

```
#define IN1 22
```

```
#define IN2 23
```

```
#define ENA 2
```

```
#define IN3 24
```

```
#define IN4 25
```

```
#define ENB 3
```

```
#define IN5 26
```

```
#define IN6 27
```

```
#define ENC 4
```

```
#define IN7 28
```

```
#define IN8 29
```

```
#define END 5
```

```
// Pines relés
```

```
#define RELE1 30
```

```
#define RELE2 31
```

```
#define RELE3 32
```

```
#define RELE4 33
```

```
#define RELE5 34
```

```
#define RELE6 35
```

```
void setup() {  
  
  Serial.begin(9600);  
  
  pinMode(IN1, OUTPUT); pinMode(IN2, OUTPUT); pinMode(ENA, OUTPUT);  
  pinMode(IN3, OUTPUT); pinMode(IN4, OUTPUT); pinMode(ENB, OUTPUT);  
  pinMode(IN5, OUTPUT); pinMode(IN6, OUTPUT); pinMode(ENC, OUTPUT);  
  pinMode(IN7, OUTPUT); pinMode(IN8, OUTPUT); pinMode(END, OUTPUT);  
  
  pinMode(RELE1, OUTPUT); pinMode(RELE2, OUTPUT);  
  pinMode(RELE3, OUTPUT); pinMode(RELE4, OUTPUT);  
  pinMode(RELE5, OUTPUT); pinMode(RELE6, OUTPUT);  
  
  radio.begin();  
  radio.setPALevel(RF24_PA_LOW);  
  radio.setDataRate(RF24_250KBPS);  
  radio.openReadingPipe(0, address);  
  radio.startListening();  
}  
  
void loop() {  
  if (radio.available()) {  
    radio.read(&receivedData, sizeof(receivedData));  
    char* token = strtok(receivedData, ",");
```

```
int valores[8];

int i = 0;

while (token != NULL && i < 8) {

    valores[i++] = atoi(token);

    token = strtok(NULL, ",");

}

if (i == 8) {

    xAxis = valores[0];

    yAxis = valores[1];

    for (int j = 0; j < 6; j++) {

        rele[j] = valores[2 + j];

    }

    controlMotores(xAxis, yAxis);

    controlarReles();

}

}

void controlarReles() {

    digitalWrite(RELE1, rele[0]);

    digitalWrite(RELE2, rele[1]);
```

```
digitalWrite(RELE3, rele[2]);  
digitalWrite(RELE4, rele[3]);  
digitalWrite(RELE5, rele[4]);  
digitalWrite(RELE6, rele[5]);  
}  
  
void controlMotores(int x, int y) {  
    String dir = "STOP";  
    int velocidad = 0;  
  
    if (y < (yCenter + 50) && y > (yCenter - 50) && x < (xCenter + 50) && x > (xCenter - 50)) {  
        detener();  
        dir = "DETENIDO";  
    } else if (y >= (yCenter + 50)) {  
        velocidad = map(y, yCenter + 50, 1023, 0, 255);  
        moverAdelante(velocidad);  
        dir = "ADELANTE";  
    } else if (y <= (yCenter - 50)) {  
        velocidad = map(y, yCenter - 50, 0, 0, 255);  
        moverAtras(velocidad);  
        dir = "ATRÁS";  
    } else if (x >= (xCenter + 50)) {  
        velocidad = map(x, xCenter + 50, 1023, 0, 255);
```

```
girarDerecha(velocidad);  
dir = "DERECHA";  
} else if (x <= (xCenter - 50)) {  
    velocidad = map(x, xCenter - 50, 0, 0, 255);  
    girarIzquierda(velocidad);  
    dir = "IZQUIERDA";  
}  
  
Serial.println("Dirección: " + dir);  
}  
  
void girarDerecha(int vel) { ... }  
void girarIzquierda(int vel) { ... }  
void moverAdelante(int vel) { ... }  
void moverAtras(int vel) { ... }  
void detener() { ... }
```

### **Interpretación Matemática**

Se aplica lectura analógica para interpretar la posición del joystick. Los valores entre 0 y 1023 son mapeados a señales PWM para controlar la velocidad de los motores.

Para el control de relés, se utiliza lógica digital, donde cada bit representa un estado ON/OFF.

El sistema interpreta vectores en 2D: el eje XY permite determinar la dirección del carro mediante un análisis de cuadrantes.

Adicionalmente, se emplea la función `map()` para traducir señales analógicas en valores proporcionales de velocidad, generando respuestas suaves y controladas en la operación del vehículo.

### **Recolección de Información**

En el siguiente apartado se exponen las fichas técnicas de los sensores y otras especificaciones que fueron requeridas para la puesta en funcionamiento de las lecturas de los gases.

### **Sensores Usados en el Carro Robótico**

Los sensores: MQ-136 (H<sub>2</sub>S), MQ-7 (CO) y MQ-2 (Combustibles), incluyendo sus principios de funcionamiento los cuales son: acondicionamiento de señal, calibración, compensación ambiental y realización de tablas de valores para graficar su comportamiento, se integraron al microcontrolador ESP32 para poder efectuar la lectura de datos precisos.

MQ-2 (*Apéndice A*)

MQ-7 (*Apéndice B*)

MQ-136 (*Apéndice C*)

### **Especificaciones Técnicas Comparadas**

La tabla de especificaciones técnicas evidencia que la selección de sensores MQ en este proyecto fue estratégica y balanceada para cubrir un espectro amplio de gases críticos en espacios confinados. El MQ-136, con alta sensibilidad y mayor resistencia base, es adecuado para detectar niveles bajos de H<sub>2</sub>S.

El MQ-7 debido a su buena linealidad y rango amplio, es ideal para detectar CO en operaciones con combustión.

El MQ-2 permitiendo detectar múltiples gases inflamables y siendo altamente versátil para entornos de hidrocarburos.

Esta selección permitió al sistema robótico ofrecer una solución complementaria, al momento de tomar lecturas de gases tóxicos, combustibles en condiciones peligrosas y a diferentes rangos de concentración. (ver tabla 2).

**Tabla 2***Datos de Especificaciones Técnicas*

Parámetro	MQ-136 (H <sub>2</sub> S)	MQ-7 (CO)	MQ-2 (Combustibles)
Gas Principal	Sulfuro de Hidrógeno	Monóxido de Carbono	LPG, Propano, Metano
Rango de Detección	1–100 ppm	20–2000 ppm	200–5000 ppm
Voltaje Circuito	5V ± 0.1	5V ± 0.1	5V ± 0.1
Resistencia (R <sub>0</sub> )	30 kΩ @ 10 ppm	10 kΩ @ 100 ppm	5 kΩ @ 1000 ppm
Pendiente (α)	0.65	≤0.5	≤0.6
Pre calentamiento	>24 horas	>48 horas	>24 horas

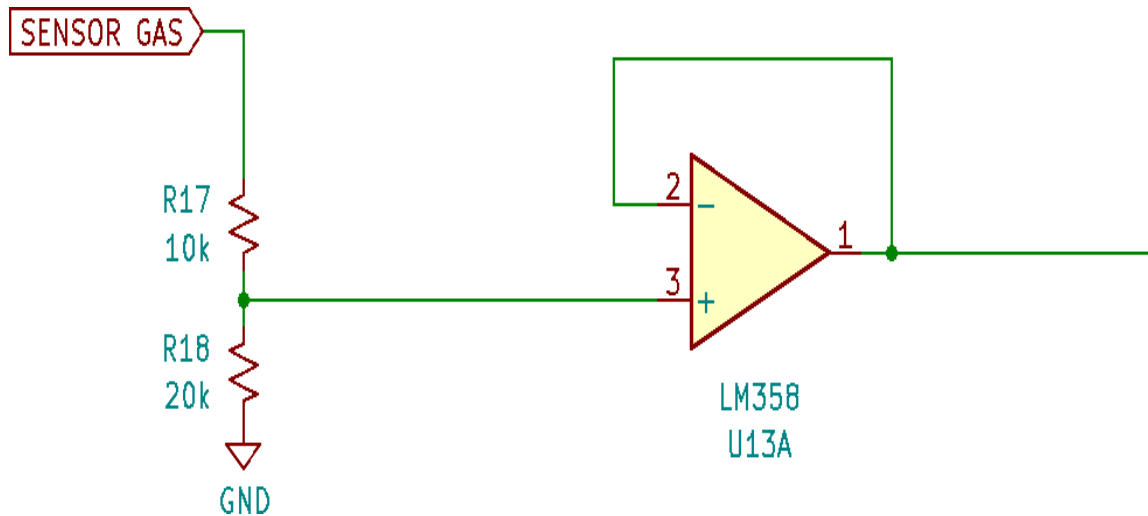
*Nota.* La tabla expone las especificaciones técnicas de los sensores MQ-136, MQ-7 y MQ-2, utilizados para detectar gases como H<sub>2</sub>S, CO y combustibles. Incluye datos de rango, voltaje, resistencia, pendiente y tiempo de pre calentamiento.

### **Acondicionamiento de Señal para ESP32**

En la siguiente imagen se muestra el circuito de acondicionamiento para la lectura de sensores de gases tipo MQ por parte del microcontrolador ESP32. El objetivo principal es reducir el voltaje de salida del sensor (5 V) a un nivel seguro y legible por el ADC del ESP32 (que admite un máximo de 3.3 V). (Ver Figura 15)

### **Figura 15**

### Circuito Electrónico de Acondicionamiento



*Nota.* Autoría propia

A continuación, se expone la fórmula para dar el acondicionamiento de voltaje

$$V_{out} = V_{sensorGas} * R18 / (R18 + R17)$$

$$V_{out} = 5V * 20K / (20K + 10K) = 3,33V$$

Siguiendo con este proceso se expone la fórmula de la lectura del ADC:

$$ValorADC = V_{out} / 3,3V * 2^{12}$$

Dando como tal, el resultado de divisor de voltaje reduciendo la señal de 5 V a 3.33 V, adecuada para el rango de entrada analógica del ESP32.

El circuito de acondicionamiento implementado cumple una función esencial en la correcta adquisición de datos desde sensores MQ hacia el ESP32. El uso del divisor de voltaje asegura que la señal esté dentro del rango tolerado por el ADC del microcontrolador, mientras que el LM358 actúa como un buffer que protege y estabiliza la señal antes de su conversión.

Este diseño garantiza las siguientes funciones:

Lecturas estables

Protección del ADC del ESP32

Correcta linealidad de lectura digital respecto al voltaje del sensor

### Calibración MQ-136 (H2S)

En lo que tiene que ver con el proceso de calibración del sensor MQ-136, se obtuvo una serie de datos teniendo en cuenta la sensibilidad del mismo.

La siguiente tabla recoge valores tomados del datasheet del sensor, que muestran cómo la relación de resistencias del sensor ( $R_s/R_o$ ) disminuye al aumentar la concentración de gas en el ambiente. Este comportamiento es característico de los sensores MQ y sirve como base para generar el modelo de calibración. (Ver Tabla 3).

### Tabla 3

*Datos de la ficha Técnica del Sensor*

---

Concentración (ppm)	$R_s/R_o$
1	2,2
3	1,7
5	1,3
10	1

---

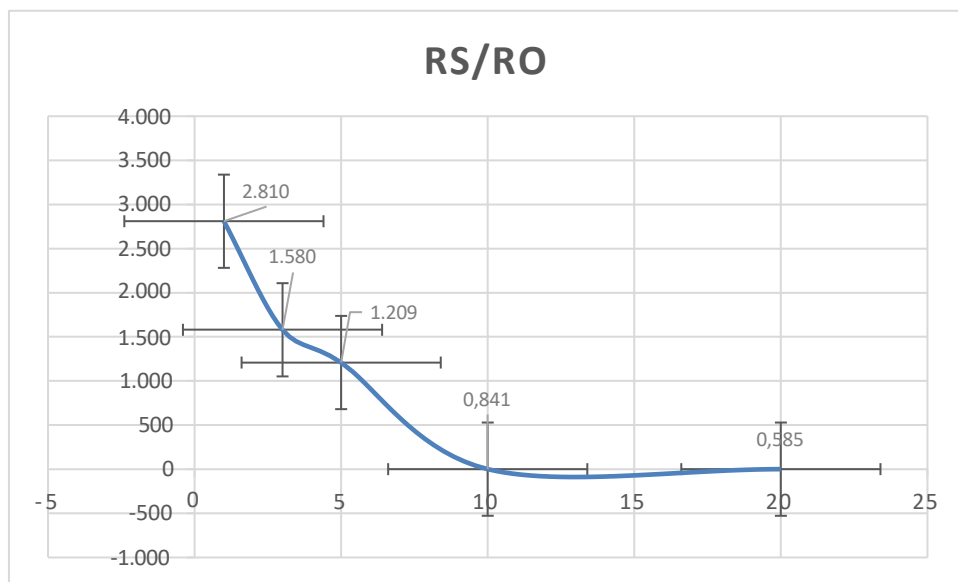
---

20	0,7
40	0,4
100	0,2

---

*Nota.* La tabla presenta la relación  $R_s/R_o$  del sensor en distintas concentraciones de gas (ppm). A medida que aumenta la concentración, la relación  $R_s/R_o$  disminuye, lo que refleja la sensibilidad del sensor.

La curva evidencia una relación inversamente proporcional entre la concentración de  $H_2S$  y la relación  $R_s/R_o$ . A medida que aumenta la concentración del gas y la resistencia del sensor disminuye (Ver Figura 16)

**Figura 16***Gráfico RS/RO**Nota. Autoría propia*

Los valores de concentración Rs/Ro se transformaron en escala logarítmica para linealizar la curva. Esto facilitó obtener una ecuación de regresión con pendiente y ordenada al origen, permitiendo aplicar un modelo matemático para estimar la concentración en tiempo real. (Ver Tabla 4).

**Tabla 4***Tabla Logarítmica*

Concentración (ppm)	Rs/Ro	Log(ppm)	Log (Rs/Ro)

---

1	2,2	0	0,34242268
3	1,7	0,47712125	0,23044892
5	1,3	0,69897	0,11394335
10	1	1	0
20	0,7	1,30103	-0,15490196

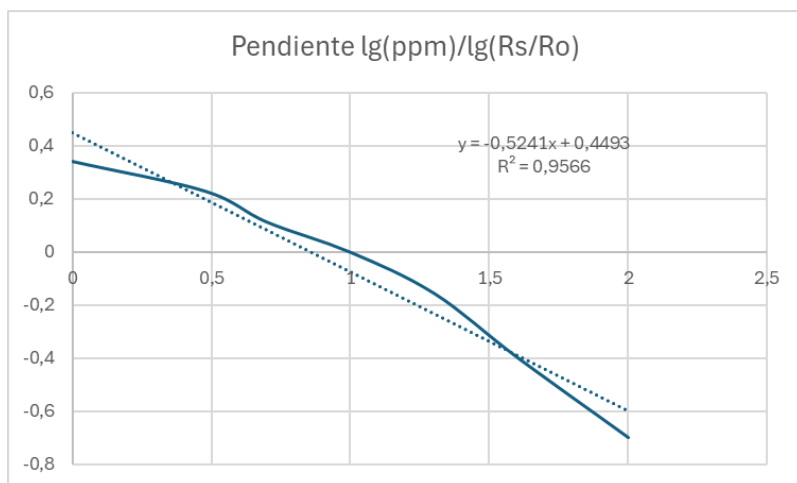
---

*Nota.* Valores logarítmicos de la concentración de gas y la relación  $R_s/R_o$  del sensor, facilitando el análisis de su respuesta.

Los valores de concentración  $R_s/R_o$  se transformaron en escala logarítmica para linealizar la curva. Esto facilitó obtener una ecuación de regresión con pendiente y ordenada al origen, permitiendo aplicar un modelo matemático para estimar la concentración en tiempo real. (Ver Figura 17).

**Figura 17**

*Representación de la Tabla Anterior*



*Nota. Autoría propia*

Entonces se evidenció que su comportamiento se logró al definirlo con la siguiente ecuación:

$$\log_{10}\left(\frac{R_s}{R_o}\right) = -0,5241 * \log_{10}(\text{ppm}) + 0,4493$$

$$\frac{R_s}{R_o} = 2,81 * \text{ppm}^{-0,5241}$$

$$H_2S(\text{ppm}) = \left(\frac{2,81 * R_o}{R_s}\right)^{1,908}$$

Esta fórmula permitió convertir cualquier lectura de  $R_s$  en una estimación cuantitativa de concentración de  $H_2S$ .

### **Datos Experimentales**

En esta sección se presentan valores reales obtenidos durante la prueba:

$R_s$  calculado ( $\Omega$ )

Vout (voltaje)

ppm calculado

Lectura ADC del ESP32

Se observó una adecuada y positiva correspondencia entre la lectura esperada y la obtenida, tal como se aprecia en la siguiente tabla. (Ver Tabla 5)

**Tabla 5**

*Datos Experimentales del Sensor*

H <sub>2</sub> S Patrón (ppm)	R <sub>s</sub> /R <sub>o</sub>	R <sub>s</sub> (Ω)	V <sub>out</sub> (V)	H <sub>2</sub> S Calculado (ppm)	Lectura ADC
1	2.810	84,3	0,53	1	657,842424
3	1.580	47,399	0,871	3	1081,09576
5	1.209	36,266	1,081	5	1341,7503
10	0,841	25,219	1,420	10	1762,52121
20	0,585	17,537	2	20	2254,04121

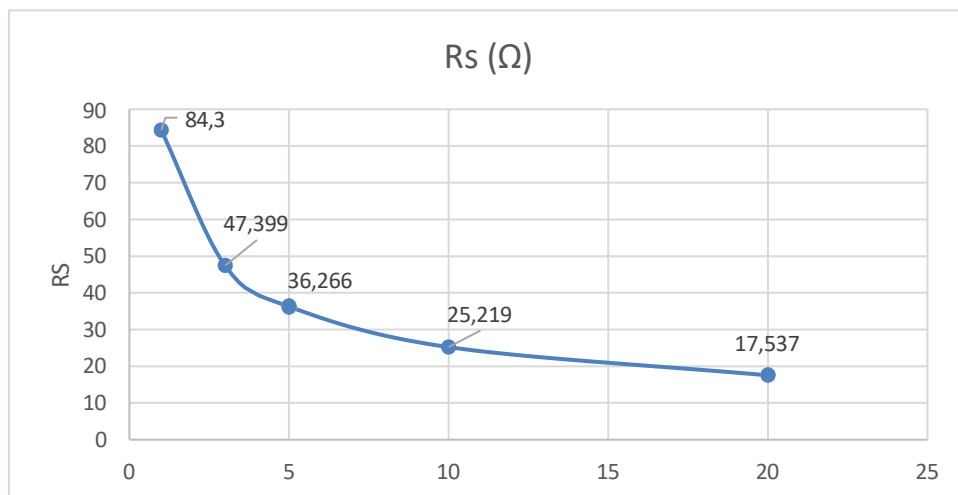
*Nota.* Datos experimentales del sensor para H<sub>2</sub>S, relacionando concentración patrón,

## Comportamiento $R_s$ vs $H_2S$

La figura 18, muestra cómo la resistencia del sensor disminuyó al incrementar la exposición al gas, confirmando visualmente el comportamiento descrito en la tabla y la ecuación de calibración.

### Figura 18

*Representación Gráfica del Comportamiento  $R_s$  vs  $H_2S$ .*



*Nota.* Autoría propia

Lectura ADC vs La exposición de gas  $H_2S$ :

Se construye una relación directa entre el valor digital del ADC (convertido desde el voltaje leído) y la concentración de gas. Esta relación permitió al ESP32 traducir directamente la lectura analógica en ppm de  $H_2S$  sin necesidad de hacer cálculos complejos en tiempo real. (Ver Tabla 6).

**Tabla 6***Tabla ADC vs La Exposición de Gas H2S*

---

Lectura ADC	H <sub>2</sub> S Patrón (ppm)
657,8424242	1
1081,095758	3
1341,750303	5
1762,521212	10
2254,041212	20

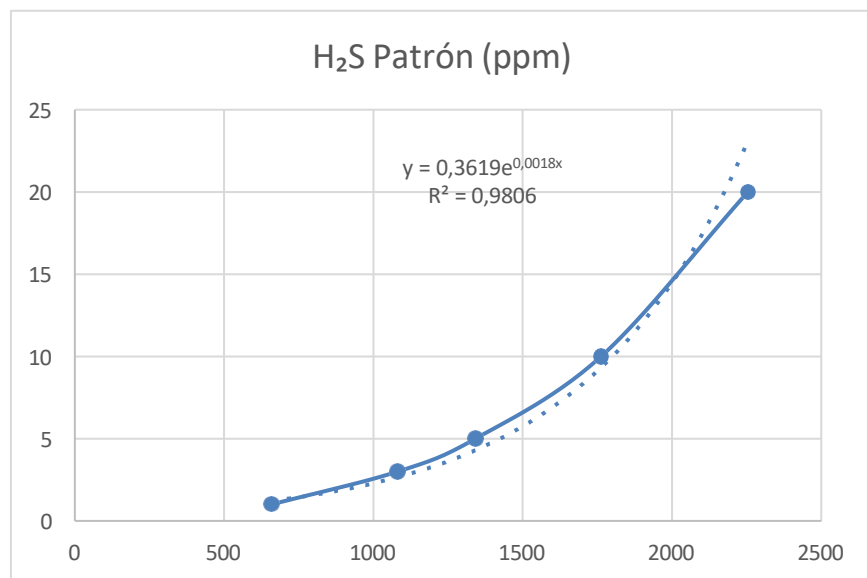
---

*Nota.* Comparación entre la lectura del ADC y la concentración patrón de gas H<sub>2</sub>S.

A continuación, se grafican los tres conjuntos de datos, para evidenciar que la calibración descrita anteriormente fue realizada de manera idónea, precisando que los tres siguen una curva casi idéntica, lo que demuestra que la calibración es precisa y que el microcontrolador puede interpretar correctamente los valores. (Ver Figura 19)

**Figura 19**

*Representación Gráfica ADC vs La exposición de Gas H2S.*



*Nota.* Autoría propia

La siguiente tabla resume el proceso de conversión de la señal leída por el sensor a través del ESP32, desde el valor digital del ADC hasta su interpretación en partes por millón (ppm) de gas H<sub>2</sub>S. (Ver Tabla 7)

**Tabla 7**

*Tabla (ppm) de Gas H<sub>2</sub>S.*

Lectura ADC	H <sub>2</sub> S Patrón (ppm)	H <sub>2</sub> S Calibrado (ppm)	H <sub>2</sub> S Lectura Esp32 (ppm)
657,8424242	1	1,172164389	1,1

---

1081,095758	3	2,505236757	2,9
1341,750303	5	3,999341777	4,4
1762,521212	10	8,509697214	9,5
2254,041212	20	20,55784684	21,3

---

*Nota.* Comparación de las lecturas ADC con las concentraciones patrón y calibradas de H<sub>2</sub>S, incluyendo las mediciones realizadas por el ESP32 para validar la precisión del sensor.

Comportamiento gráfico y comparación de las tres series de datos (Ver Figura 20)

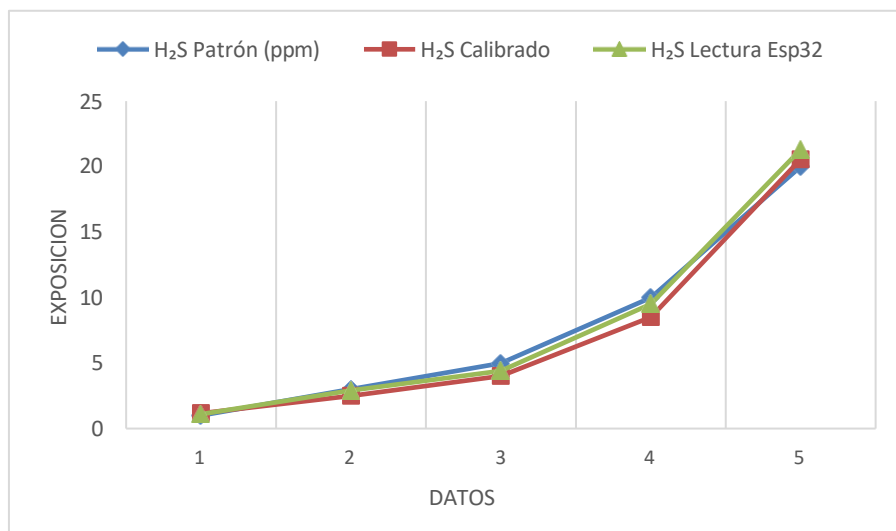
Azul (●): valor patrón de concentración.

Rojo (■): valor calculado por fórmula.

Verde (▲): valor que interpreta el ESP32.

**Figura 20**

*Representación Gráfica (ppm) de Gas H<sub>2</sub>S.*



*Nota.* Autoría propia

### **Calibración MQ-7(CO)**

Para este proceso de calibración se utilizaron datos extraídos de la curva del fabricante, donde se identificó que la relación  $R_s/R_o$  disminuye a medida que aumenta la concentración de CO. Esto es típico de los sensores MQ, los cuales se caracterizan por presentar mayor conductividad en presencia del gas objetivo. (Ver Tabla 8)

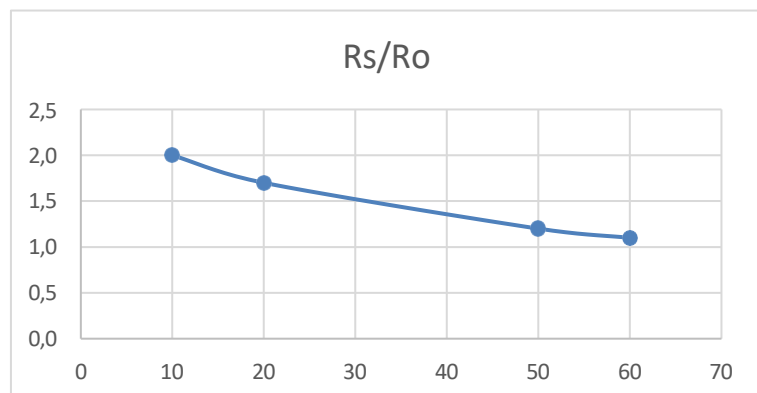
**Tabla 8***Tabla de Datos de la Curva*


---

CO Patrón (ppm)	Rs/Ro
10	2,0
20	1,7
50	1,2
60	1,0

*Nota.* Se evidencia el cambio de valores en Rs/Ro en comparación con el gas patrón CO evidenciando entre estas un valor inversamente proporcional.

La gráfica permite visualizar una curva descendente, lo que confirma que el sensor responde adecuadamente al incremento del gas. Esta representación sirvió de base para deducir el modelo matemático de calibración. (Ver Figura 21)

**Figura 21***Representación Gráfica del Modelo Matemático de Calibración*

*Nota.* Autoría propia

Dado que el comportamiento fue ascendente se puede obtener la siguiente ecuación tomada desde la hoja de datos técnica del mismo sensor, la ecuación es la siguiente:

$$R_o = \frac{R_s}{1.1}$$

Dando continuidad con el proceso matemático la curva característica se pudo describir con la ecuación de calibración siguiente:

$$\frac{R_s}{R_o} = A * ppm^{-B}$$

$$\log_{10} \frac{R_s}{R_o} = \log_{10}(A) - B * \log_{10}(ppm)$$

Ahora es importante recordar que esta calibración debe de tipo lineal el cual se utilizó la ecuación del punto pendiente:

$$y = mx + b$$

$$\frac{R_s}{R_o} = 2,65 * ppm^{-0,43}$$

### ***Datos Experimentales***

La tabla que se presenta a continuación, expuso los valores reales de resistencia del sensor (Rs) frente a concentraciones conocidas de CO en el proceso de calibración. La gráfica evidencia cómo la resistencia disminuye de forma inversa con el aumento de CO, confirmando el comportamiento esperado del MQ-7. (Ver Tabla 9)

**Tabla 9***Datos Experimentales del Sensor*

CO Patrón (ppm)	Rs/Ro	Rs( $\Omega$ )	Vout (V)	CO Calculado (ppm)	Lectura ADC
10	2,0	60000	0,14	9,6	886,225455
20	1,7	51000	0,831	20,1	1031,44727
50	1,2	36000	1,042	50,3	1293,34303
60	1,1	30000	1	60	1370,29818

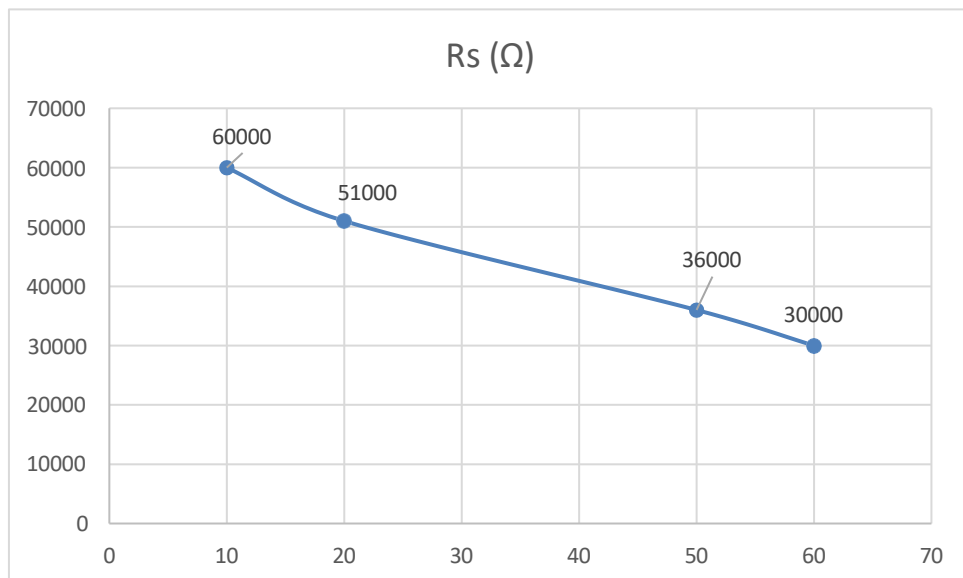
*Nota. muestra cómo responde el sensor al monóxido de carbono (CO), relacionando la concentración patrón con la resistencia, voltaje de salida, concentración calculada y lectura del ADC.*

### **Comportamiento Rs vs CO**

Con este proceso se pudo demostrar cómo los valores de lectura digital (ADC) del ESP32 se corresponden con concentraciones de gas, estableciendo una curva matemática de ajuste. La regresión mostrada:

$$y = 0.105x - 85.296 \quad (R^2 = 0.9904)$$

Esto indicó una relación altamente confiable entre el valor leído por el microcontrolador y la concentración real de CO, lo cual es clave para una interpretación precisa en tiempo real. (Ver Figura 22).

**Figura 22***Comportamiento  $R_s$  vs  $CO$ .**Nota. Autoría propia*

EL ESP32 replica fielmente los valores calculados con base en la ecuación de calibración. (Ver Tabla 10).

**Tabla 10***Tabla de Valores Calculados ADC vs  $CO$  Patrón*

Lectura ADC	$CO$ Patrón (ppm)
886,225455	10
1031,44727	20

---

1293,34303

50

---

*Nota.* Relaciona las lecturas digitales del ADC con las concentraciones patrón de monóxido de carbono

La gráfica de tres curvas (patrón, calibrado, ESP32) demuestra coherencia total entre los datos:

Azul (●): concentración real (referencia).

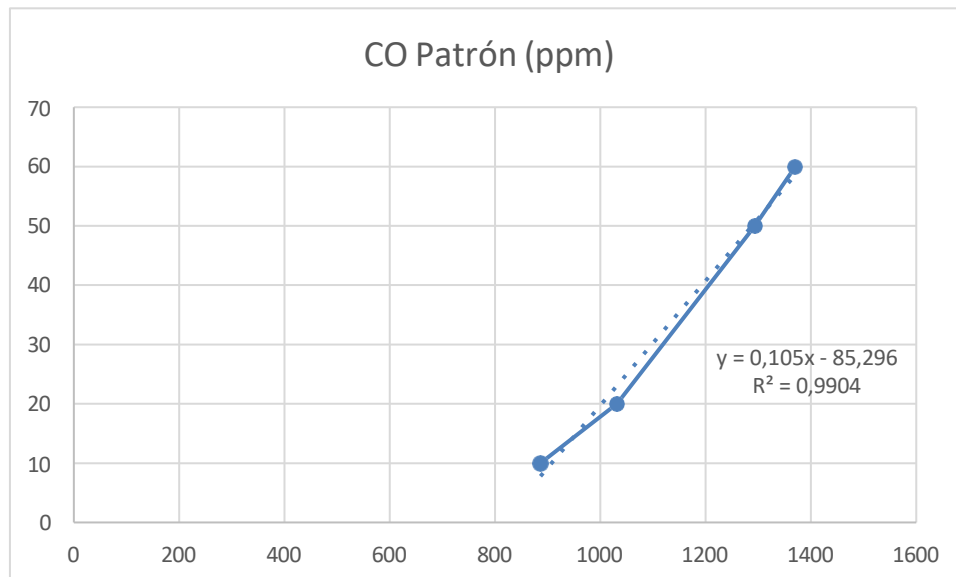
Rojo (■): resultado de la fórmula matemática de calibración.

Verde (▲): lectura directa del microcontrolador.

El seguimiento estrecho de estas líneas confirma que la implementación en hardware y software es correcta. (Ver Figura 23)

**Figura 23**

*Representación Gráfica ADC vs CO Patrón.*



*Nota.* Autoría propia

Se utilizan los valores de lectura ADC vs La exposición de gas CO, para calibrar en el ESP32, Esta tabla compara tres valores claves en los datos obtenidos. (Ver Tabla 11)

**Tabla 11**

*Tabla de Datos Comparativa ADC, CO Patrón, CO Calibrado, ESP32*

Lectura ADC	CO Patrón (ppm)	CO Calibrado (ppm)	CO Lectura Esp32 (ppm)
886,225455	10	7,75767273	8,1
1031,44727	20	23,0059636	22,3

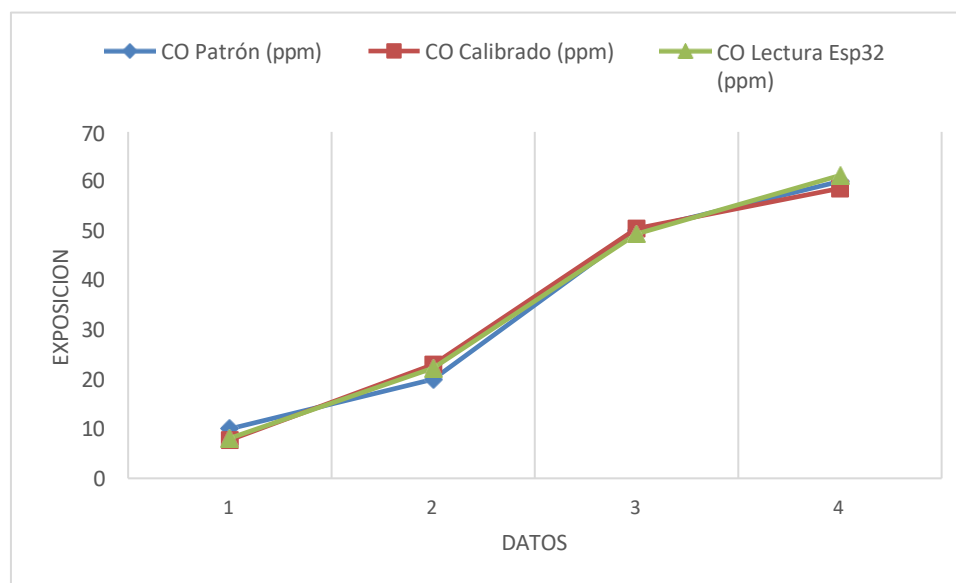
1293,34303	50	50,5050182	49,4
1370,29818	60	58,5853091	61,2

*Nota.* La tabla compara las concentraciones de CO obtenidas a partir de la lectura del ADC con los valores patrón, calibrados y medidos por el ESP32.

En la figura 24, se presenta el comportamiento de las tres variables en el proceso de calibración, es importante resaltar que el dato CO lectura Esp32 sigue la misma tendencia que la del patrón del gas.

**Figura 24**

*Representación Gráfica de ADC, CO Patrón, CO Calibrado, CO Lectura ESP32*



*Nota.* Autoría propia

### **Calibración MQ-2(CH4)**

El sensor MQ-2 se calibró tomando como referencia el Límite Inferior de Explosividad (LEL) del metano, el cual fue aproximadamente 5% en volumen (50,000 ppm). Es por ello que

se asumió calibrar con el 58% del LEL, la siguiente ecuación se expone la equivalencia del 5% en el gas.

$$0,58 * 5\% = 2.9\% = 29000 \text{ ppm}$$

Este valor nos indicó que el punto superior de referencia para la calibración es estable.

Continuando con el proceso de calibración se utilizaron datos estimados del datasheet del fabricante. (Ver Tabla 12).

**Tabla 12**

*Tabla de Datos desde su Ficha Técnica*

ppm CH <sub>4</sub>	Rs/Ro
200	3,4
400	2,4
1000	1,5
2000	1,1
5000	0,75
10000	0,55

---

20000	0,38
-------	------

30000	0,32
-------	------

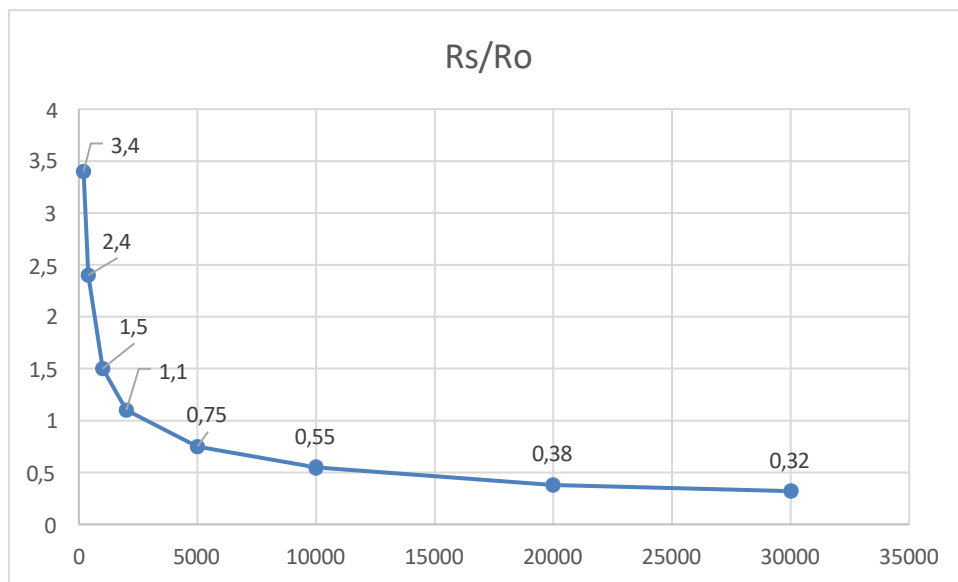
---

*Nota.* La tabla presenta la relación  $R_s/R_o$  del sensor para diferentes concentraciones de metano ( $CH_4$ ), según su ficha técnica.

La gráfica resultante continuación muestra la caída exponencial típica en el proceso de calibración del sensor que nos indicó que, a mayor concentración de gas, menor resistencia relativa. (Ver Figura 25).

### Figura 25

*Representación Gráfica de la Tabla Anterior*



*Nota.* Autoría propia

### Calcular $R_o$ Usando Gas Patrón

El valor de  $R_o$  (resistencia del sensor en atmósfera limpia o conocida) se obtiene

exponiendo el sensor a una concentración conocida de gas.

En este caso:

Se usó 29,000 ppm de CH<sub>4</sub> (2.9% en volumen).

La curva indicó que, a esa concentración,  $R_s/R_o = 0.33$ .

Por tanto, en el proceso de calibración del sensor se dedujo que el valor de  $R_o$  fue hallado con la siguiente ecuación:

$$\frac{R_s}{R_o} = 0,33 \text{ (para 29000 ppm)} \rightarrow R_o = \frac{R_s}{0,33}$$

Este valor permitió luego normalizar las lecturas de  $R_s$  y aplicar la ecuación de calibración:

$$\frac{R_s}{R_o} = A * ppm^{-B}$$

Con valores aproximados tomados del datasheet:

$$A \approx 50$$

$$B \approx 0.42$$

Esta forma permite modelar la respuesta no lineal del sensor y convertir la resistencia en concentración de gas.

Despejando la ecuación anterior, se obtiene:

$$ppm = \left( \frac{Rs}{50 * Ro} \right)^{\frac{1}{0,42}}$$

Esta fórmula es implementada en el código del ESP32 para convertir directamente las lecturas analógicas (ADC → Vout → Rs) en una estimación de concentración de gas metano (CH<sub>4</sub>) en ppm.

### ***Datos Experimentales***

Las tablas resumen la validación del sensor MQ-2 para diferentes concentraciones de metano (CH<sub>4</sub>) y su comportamiento en el sistema de lectura con el ESP32. en la tabla 13, se presentan tres formas de interpretar la concentración de gas (Ver Tabla 13)

### **Tabla 13**

#### *Datos del Sensor MQ-2 Expuesto al Metano y Lecturas del ESP32*

CH <sub>4</sub> Patrón (ppm)	Rs/R o	Rs (Ω)	Vout (V)	CH <sub>4</sub> Calculado (ppm)	CH <sub>4</sub> Lectura Esp32 (ppm)
200	3,4	102	0,435	194,2	196,6
400	2,4	72	0,556	400,5	402
1000	1,5	45	0,769	1001,8	1003,4
2000	1,1	33	0,938	2003,4	2005,6

---

5000	0,75	22,5	1.250	4998,6	5000,3
10000	0,55	16,5	1.515	9997,2	10000,4
29000	0,33	9,9	2.014	29004,3	31000

---

*Nota.* Las tablas muestran una comparación entre los valores patrón de concentración de metano ( $\text{CH}_4$ ), los cálculos realizados a partir de las mediciones del sensor MQ-2 y las lecturas obtenidas por el ESP32.

La gráfica compara tres curvas correspondientes a (Ver Figura 26)

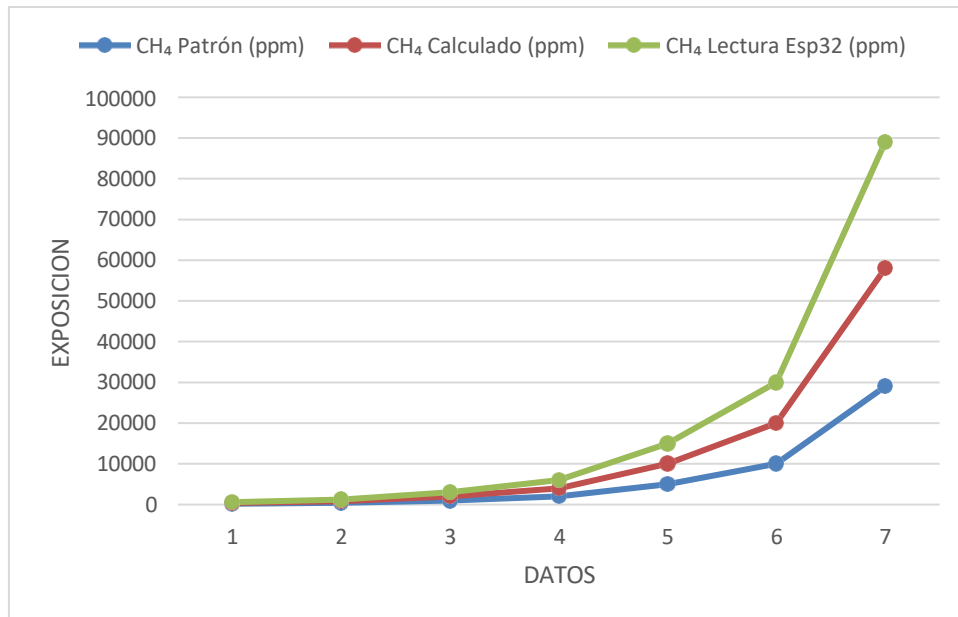
Azul (●):  $\text{CH}_4$  Patrón (ppm): Concentraciones reales aplicadas como referencia.

Rojo (■):  $\text{CH}_4$  Calculado (ppm): Estimaciones obtenidas por la ecuación matemática del modelo de calibración.

Verde (▲):  $\text{CH}_4$  Lectura ESP32 (ppm): Valores obtenidos directamente desde el microcontrolador.

**Figura 26**

*Gráfico del sensor MQ-2 Expuesto al Metano y Lecturas del ESP32*



*Nota.* Autoría propia

// Pines: MQ136 -> GPIO32, MQ135 -> GPIO33, MQ7 -> GPIO34, MQ2 -> GPIO35

```
const int pinMQ136 = 32;
```

```
const int pinMQ135 = 33;
```

```
const int pinMQ7 = 34;
```

```
const int pinMQ2 = 35;
```

// Valores de Ro obtenidos tras calibración con gas patrón

```
float Ro_MQ136 = 30000.0; // ohms (20 ppm H2S)
```

```
float Ro_MQ135 = 50000.0; // ohms (15% CO2)
```

```
float Ro_MQ7 = 6000.0; // ohms (60 ppm CO)
```

```
float Ro_MQ2 = 40000.0; // ohms (58% LPG)
```

```
const float RL = 10000.0; // Ohms

float adcToVoltage(int adc) {
    return (adc * 3.3) / 4095.0;
}

float calculateRs(float Vesp) {
    return RL * ((5.0 / (3.0 * Vesp)) - 1.0);
}

void printSensor(const char* name, int pin, float Ro) {
    int adc = analogRead(pin);
    float Vesp = adcToVoltage(adc);
    float Rs = calculateRs(Vesp);
    float ratio = Rs / Ro;

    Serial.print(name); Serial.print(" -> V: "); Serial.print(Vesp, 3);
    Serial.print(" V, Rs: "); Serial.print(Rs, 1);
    Serial.print(" Ω, Rs/Ro: "); Serial.println(ratio, 3);
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
```

```
delay(1000);

Serial.println("--- Lectura sensores MQ ---");

}

void loop() {

  printSensor("MQ136 H2S", pinMQ136, Ro_MQ136);
  printSensor("MQ135 CO2", pinMQ135, Ro_MQ135);
  printSensor("MQ7 CO", pinMQ7, Ro_MQ7);
  printSensor("MQ2 LPG", pinMQ2, Ro_MQ2);

  Serial.println("-----\n");

  delay(2000);

}
```

## **Prueba de Distancia**

Con el objetivo de validar el alcance real del sistema de comunicación inalámbrica entre el transmisor (basado en Arduino Nano) y el receptor (Arduino Mega), se llevó a cabo una prueba de distancia en campo abierto. Esta prueba tuvo como propósito comprobar la estabilidad del enlace RF utilizando los módulos nRF24L01, los cuales operan en la banda ISM de 2.4 GHz.

### **Metodología**

El procedimiento consistió en ubicar el transmisor en un punto fijo, mientras que el receptor fue desplazado gradualmente a distintas distancias en línea recta. Durante el ensayo, se observó el comportamiento del sistema en función de la pérdida de paquetes, la latencia en la respuesta de los motores, y la ejecución efectiva de los comandos enviados desde el joystick.

La verificación del enlace se realizó visualmente, comprobando el movimiento del carro robótico en función de las señales recibidas, y utilizando mensajes seriales para confirmar la recepción de datos completos en el receptor.

### **Condiciones de Prueba**

Ubicación: espacio abierto sin interferencias electromagnéticas aparentes.

Clima: condiciones ambientales estables (sin lluvia ni viento fuerte).

Módulos nRF24L01 con antena PCB (sin amplificador externo).

Velocidad de transmisión: 250 Kbps (configuración óptima para mayor alcance y fiabilidad).

## **Resultados Observados**

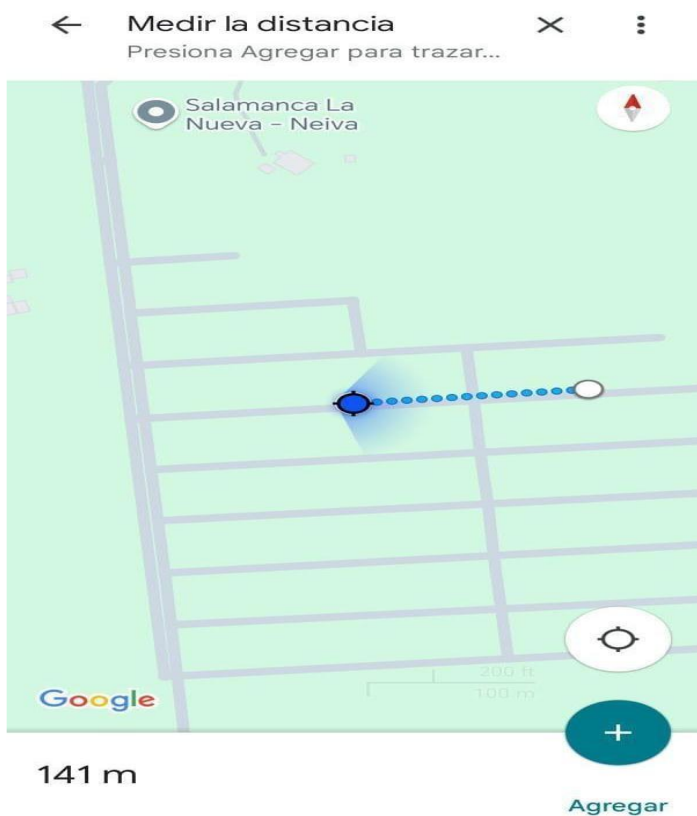
A partir del análisis visual y funcional durante la prueba, se pudo constatar que el sistema mantiene una comunicación estable en un rango aproximado de 141 metros, sin pérdida significativa de datos ni interrupciones en la ejecución de los comandos.

La imagen capturada durante el ensayo evidencia el momento en que el vehículo aún respondía adecuadamente a las órdenes del operador a esa distancia, confirmando la viabilidad del sistema para aplicaciones en entornos industriales medianos.

En la siguiente imagen se podrá ver que el máximo rango es de 141 m, y se comprueba que la ficha técnica nos indica que puede alcanzar una distancia máxima de 1 km cuando realmente en condiciones industriales no se cumple, ver figura (27).

**Figura 27**

*Distancia Máxima Alcanzada.*



*Nota.* Autoría propia

La prueba de distancia validó que el sistema de comunicación inalámbrica es funcional y confiable hasta un rango operativo máximo de 141 metros, cumpliendo con los requisitos del proyecto. Para aplicaciones en entornos con obstáculos o interferencias, se recomienda evaluar el uso de módulos nRF24L01 con antena externa y amplificador (PA+LNA) para ampliar el alcance y robustez de la señal, como este caso el proyecto realizado cumplido con una de las condiciones ya que el carro debía alcanzar una distancia máxima de 50 metros.

## **Descripción del Sistema**

El sistema desarrollado corresponde a un carro robótico teledirigido diseñado específicamente para realizar pruebas de presión y detección de gases en espacios confinados o áreas de difícil acceso dentro del entorno industrial. Su principal objetivo es permitir la supervisión remota de condiciones ambientales potencialmente peligrosas, minimizando la exposición del personal y garantizando la seguridad operativa.

Esta solución responde a la necesidad de vigilancia activa en zonas donde la presencia humana representa un riesgo elevado, tales como tanques cerrados, ductos industriales, cámaras subterráneas y zonas con presencia de gases tóxicos o inflamables. Al operar de forma remota, el sistema contribuye no sólo a preservar la integridad del personal técnico, sino también a optimizar los tiempos de inspección y reducir costos asociados al ingreso de personal protegido con equipos especializados.

El sistema ha sido concebido bajo una arquitectura modular que facilita su mantenimiento, personalización y expansión. Esto permite integrar nuevos sensores, cambiar configuraciones de control, o escalar las capacidades del vehículo de acuerdo con las necesidades de cada entorno operativo. Asimismo, la inclusión de elementos de navegación autónoma está prevista como evolución natural del diseño actual.

### **Subsistema Transmisor**

Ubicado en la estación de control, este subsistema se basa en un Arduino Nano, al cual se integran:

Un joystick de dos ejes para el control direccional del carro.

Botones y switches digitales que permiten accionar remotamente relés en el receptor.

Un módulo de comunicación nRF24L01, encargado de transmitir en tiempo real las órdenes al carro robótico.

La interfaz de usuario es simple y efectiva, permitiendo al operador controlar tanto el movimiento como los actuadores (luces, brazo robótico, etc.) desde una ubicación segura.

### **Subsistema Receptor**

Montado en el carro robótico, este subsistema utiliza una placa Arduino Mega por su mayor capacidad de pines y procesamiento. Incluye:

Un módulo nRF24L01 receptor que recibe los comandos enviados por el transmisor.

Un conjunto de motores DC controlados mediante dos puentes H L298N, lo que permite una tracción diferencial y desplazamiento en múltiples direcciones (adelante, atrás, giro izquierdo/derecha).

Relés controlados digitalmente para encender luces o accionar dispositivos externos como brazos robóticos o sensores adicionales.

Un sistema de sensores de gases y presión, entre los cuales se destacan el MQ-2, MQ-7, MQ-135 y MQ-136, capaces de detectar LPG, CO, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S respectivamente.

Un sistema de alimentación autónoma, basado en baterías Li-Ion recargables (tipo 18650) y un circuito regulador de carga eficiente.

### **Sistema de Comunicación Inalámbrica**

Ambos subsistemas se conectan a través de los módulos nRF24L01 configurados para comunicación bidireccional mediante protocolo SPI. El sistema ha sido probado exitosamente para un alcance operativo de hasta 141 metros en línea recta, con posibilidad de ampliación mediante módulos con antena externa.

## **Sistema de Control y Navegación**

El software implementado en el Arduino receptor interpreta los datos del joystick en coordenadas (X, Y), y los mapea en señales PWM para controlar la velocidad y dirección de los motores. Además, la activación de los relés se ejecuta según el estado lógico de cada botón o switch, transmitido desde el emisor.

Los algoritmos de control permiten un manejo fluido, preciso y estable del vehículo, facilitando su operación en espacios reducidos o con obstáculos. La estructura mecánica del carro ha sido diseñada para brindar estabilidad y resistencia, con un chasis robusto y ruedas adecuadas para diversos tipos de terreno.

## Conclusiones

El presente proyecto de grado configuró un esfuerzo técnico y académico orientado a resolver una problemática real en el contexto industrial: la necesidad de monitorear condiciones de seguridad (presión y gases) en espacios confinados sin poner en riesgo al personal. A través del diseño e implementación de un sistema robótico teledirigido, se logró materializar una solución innovadora que articula conocimientos en robótica móvil, electrónica, control, sensores y telecomunicaciones.

Atendiendo al objetivo general propuesto por el presente estudio, el desarrollo del prototipo robótico logró llevarse a cabo, permitiendo identificar que los avances alcanzados demuestran la viabilidad técnica y operativa de la propuesta tecnológica. El sistema de transmisión inalámbrica, basado en módulos nRF24L01 y microcontroladores Arduino, fue probado con éxito en condiciones reales, evidenciando un alcance funcional de al menos 141 metros y una respuesta estable frente a comandos remotos. Así mismo, se especifica que el sistema receptor logró integrar con efectividad la gestión de motores y relés, consolidando un vehículo con capacidad de desplazamiento controlado y activación de actuadores, todo bajo condiciones seguras.

La arquitectura modular del proyecto permite su futura ampliación con componentes como cámaras, módulos Wi-Fi o sensores adicionales, lo que demuestra su potencial de escalabilidad. Además, el desarrollo de esta investigación ha documentado rigurosamente cada etapa del proceso, lo que incluye el diseño del carro robótico, la selección de componentes, la

construcción del sistema y las pruebas realizadas, dejando las bases establecidas para continuar con las fases de ajuste, protección física del equipo y validación industrial.

Se infiere que este proyecto no solo constituye una solución prometedora para empresas como Maxim Fishing, sino que también se convierte en un ejemplo de cómo la ingeniería aplicada puede transformar entornos de alto riesgo en espacios más seguros y controlados.

Ahora bien, en lo que tiene que ver con el objetivo específico uno de la presente investigación, el cual estaba orientado a identificar las especificaciones técnicas y requisitos operativos necesarios para el diseño y desarrollo del carro robótico, y la implementación de sistemas de comunicación remota, se concluye que el equipo de trabajo logró definir de manera minuciosa todos y cada uno de los requerimientos que de manera integral permiten el funcionamiento idóneo del carro, lo cual representó una tarea ardua de prueba y error, a través de la cual se pudo en última instancia implementar los sistemas de comunicación remota haciendo uso de los sensores de medición de gases, la cámara instalada para la visualización de las pruebas de presión y los dispositivos de radiofrecuencia que permiten tener un control de movilidad sobre el robot por medio de un Joystick y el dispositivo electrónico ESP32.

En lo que tiene que ver con el objetivo específico número dos, el cual está enfocado en diseñar el sistema mecánico y electrónico del carro robótico, considerando aspectos como la movilidad, la estabilidad y la resistencia requeridas para operar en entornos confinados y exteriores, se pudieron escoger los equipos pertinentes que se acoplan a las necesidades exigidas por el terreno en el cual se movilizó el carro robótico para las pruebas establecidas, tales como el tipo de rueda según el terreno al que se sometió, la potencia de los motores escogidos de acuerdo al peso total calculado del robot y la altura máxima que dio los vástagos utilizados de acuerdo a

la altura de la tubería de prueba.

Siguiendo con los procesos establecidos, el objetivo número 3 de este estudio se centró en integrar todos los componentes electrónicos y mecánicos del carro robótico para lograr un sistema autónomo de control y navegación, con capacidad de comunicación remota efectiva para monitorización en los procesos de medición de presión y de gases, para ello se realizaron, pruebas de movilidad remota en campo abierto teniendo como resultado una distancia de 141 metros y superando los 50 metros establecidos como objetivo inicial, seguido de la prueba de la comunicación entre los sensores, el joystick y la nube de almacenamiento digital. Por último, se realizó una prueba de calidad visual que aportó la cámara instalada al robot y por la cual se realizó supervisión de presiones y movilidad sobre el terreno de pruebas.

Por último, cumpliendo con el cuarto objetivo específico de esta investigación, el equipo de trabajo se enfocó en realizar un proceso de pruebas y ajustes reales del carro robótico, evaluando su desempeño en la medición de gases y el monitoreo de pruebas de presión, concluyendo que los ajustes realizados durante las pruebas reales del robot se inclinaron al ángulo de visualización de la cámara para una mejor proyección y la modificación del ensamble que se le había dado a los sensores de gases en el cual se logró tener una mejor lectura de esta variable, debido a su exposición a este mismo. Por último se pudo observar y establecer el tiempo de trabajo del carro robótico, el cual depende de la carga de las baterías para tener una claridad del tiempo de monitoreo de las pruebas de presión, concluyendo que el tiempo de funcionamiento de la batería es de un rango de 8 horas aproximadamente, lo cual permite cumplir con el objetivo de supervisión de la prueba de presión que tiene un tiempo de aproximadamente 3 horas al igual que el monitoreo de gases que se realiza igualmente en un

tiempo aproximado de 3 horas.

## Recomendaciones

El desarrollo del prototipo de carro robótico teledirigido, equipado con módulos de comunicación NRF24L01, un sistema de videovigilancia para pruebas de presión y sensores de gases peligrosos, marca avance significativo en la convergencia entre robótica, seguridad industrial y monitoreo ambiental. Sin embargo, como toda creación tecnológica en fase experimental, su evolución configura un proceso continuo susceptible a cambios y mejoras.

A continuación, se despliegan una serie de recomendaciones que podrían transformar este dispositivo en una herramienta más inteligente y adaptable a las demandas del mundo real.

En ese orden de ideas, se sugiere explorar alternativas como la integración de paneles solares flexibles en su estructura o incluso, sistemas de carga por inducción, que permitan recargas automáticas al pasar por estaciones base. Además de ello, el equipo de investigación considera que la implementación de algoritmos de gestión de energía podría optimizar el consumo, priorizando funciones críticas en situaciones de emergencia. De igual manera, se sugiere trabajar en nuevas versiones de carros robóticos de diferentes tamaños, atendiendo a las variadas necesidades y particularidades que se puedan presentar en los campos de trabajo en los que este tipo de artefactos tecnológicos son requeridos.

Se sugiere el uso de cámaras termográficas para detección de fugas de agua y de gases, adicionalmente puede ser recomendable articular un sistema de geoposicionamiento global que permita rastrear la ubicación en tiempo real del carro.

Finalmente, se sugiere para futuras versiones del carro robótico la implementación de un sistema de monitoreo de terrenos e infraestructura para crear modelos 3D detallados de cada superficie, logrando de esta manera la predicción de eventos catastróficos.

Al equipo de investigación sugiere que se abran nuevas líneas de desarrollo, que

indaguen en todas estas mejoras, alcanzando una versión más eficiente de esta propuesta, teniendo en claro que todo ello requiere un mayor nivel de inversión económica y tecnológica, ya que como es predecible este tipo de estudios se caracteriza por su altísimo nivel de costo financiero, siendo desarrollado por equipo de trabajo que en muchos casos sobrepasan las veinticinco personas.

### Referencias Bibliográficas

- Arduino. (2024). \*Arduino Nano Technical Documentation\*. <https://docs.arduino.cc>
- Cedeño, D., & Gómez, L. (2020). \*Aplicaciones del Internet de las Cosas en Entornos Industriales\*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Coca, C. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de gases tóxicos en espacios confinados utilizando sensores MQ y microcontrolador ESP32*. *Revista Boliviana de Ciencias*, 27(1), 21–31.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522020000100003](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522020000100003)
- Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). \*Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice\*. Wiley.
- Das, T., Sut, D., Gupta, V., Gohain, L., Kakoty, P., & Kakoty, N. (2020). *A Mobile Robot for Hazardous Gas Sensing*. *Proceedings of the 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE)*, 62–66.  
[https://www.researchgate.net/publication/344311562\\_A\\_Mobile\\_Robot\\_for\\_Hazardous\\_Gas\\_Sensing](https://www.researchgate.net/publication/344311562_A_Mobile_Robot_for_Hazardous_Gas_Sensing)
- ExRobotics. (2020). *ExR-1 – Autonomous Robot for Gas Detection in Hazardous Industrial Environments* [estudio de caso]. <https://e7552ege7qf.exactdn.com/wp-content/uploads/2020/04/ExRobotics-Case-Study.pdf>
- Fernández, D., y López, S. (2022). *Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire con Sensores MQ-2 y MQ-135*. (Tesis de Grado). Universidad Tecnológica de Panamá.
- Garcés, A., Zambrano, J., & Armijos, C. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de gases en ambientes industriales*. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 34(2), 55-66.

- González, J., & Salazar, M. (2020). \*Automatización Industrial con Arduino\*. Alfaomega.
- Hernandez, V., Lilienthal, A., Neumann, P. Trincavelli, M., & Zell, A. (2014). *Mobile Robot Multi-Sensor Unit for Unsupervised Gas Discrimination in Uncontrolled Environments*. *Robotics and Autonomous Systems*, 62(11), 1748–1762.  
<https://www.smokebot.eu/papers/Mobile%20robot%20multi-sensor%20unit%20for%20unsupervised%20gas%20discrimination%20in%20uncontrolled%20environments.pdf>
- ISO. (2015). \*ISO 14001:2015 – Environmental management systems\*. International Organization for Standardization.
- ISO. (2017). \*ISO 10218-1: Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots\*. International Organization for Standardization.
- Li, J. (2012). *Design and Implementation of a Gas Detection System Based on Wireless Sensor Networks*. *Procedia Engineering*, 45, 303–308. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.150>
- López, R., y Marín, F. (2019). *Protocolos de seguridad en espacios confinados para la industria*. (Informe Técnico). Instituto de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Maxim Integrated. (2018). \*LM2596 Regulator Datasheet\*. Texas Instruments.
- Monk, S. (2016). \*Programming Arduino: Getting Started with Sketches\* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- National Fire Protection Association. (2019). \*NFPA 350: Guide for Safe Confined Space Entry and Work\*. NFPA.
- Nordic Semiconductor. (2023). \*nRF24L01+ Product Specification v2.0\*.  
<https://infocenter.nordicsemi.com>
- Occupational Safety and Health Administration. (2020). \*Permit-Required Confined Spaces

Standard – 29 CFR 1910.146\*. U.S. Department of Labor.

Oficina Internacional del Trabajo. (2021). \*El trabajo informal en Colombia\*. Norma.

Patil, S., & Karwankar, A. (2023). *Development of Gas Leakage Detection and Location Identification System. The International Journal of Engineering and Science (The IJES)*, 12(5), 06–12. <https://www.theijes.com/papers/vol12-issue5/B12050612.pdf>

Pavani, R., Nikhitha, K., Pavani, K., Sri Harsha, K., & Durga Prasad, N. (2022). *Hazardous Gas Detecting Robot Using Arduino. Journal of Engineering Sciences*, 13(6), 1376–1380. <https://jespublication.com/upload/2022-V13I6218.pdf>

Praveen, M., & Sasikumar, M. (2019). Smart Gas Detection and Alerting System Using IoT. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 67(7), 108–111. <https://ijettjournal.org/assets/Volume-67/Issue-7/IJETT-V67I7P205.pdf>

Pérez, M. J., García, J. L., & Ruiz, M. (2021). Avances en robótica móvil terrestre para entornos industriales: Una revisión. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 18(4), 455-470.

Pravin, B., & Jaya, D. (2021). *Intelligent Robot for Hazardous Gas Detection. International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, 3(3), 443–447. [https://ijaem.net/issue\\_dcp/Intelligent%20Robot%20for%20Hazardous%20Gas%20Detection.pdf](https://ijaem.net/issue_dcp/Intelligent%20Robot%20for%20Hazardous%20Gas%20Detection.pdf)

Quinatoa, M. & Herrera, E. (2023). *Diseño de un sistema de monitoreo remoto para ambientes peligrosos utilizando módulos NRF24L01*. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Salesiana.

Romero, C. & Solano, A. (2019). *Diseño y prototipado de un robot móvil para inspección de*

*tuberías*. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Salesiana.

Sánchez, A. (2021). Comunicación Inalámbrica para Aplicaciones de Monitoreo Industrial con NRF24L01. *Ingenium*, 4(1), 78-89.

UNESUM. (2023). *La mecatrónica y su importancia en la sociedad*. Revista de Ciencias de la UNESUM. <https://revistas.unesum.edu.ec/JTI/index.php/JTI/article/download/5/5>

Vargas, D. . (2017). *Fundamentos de robots móviles*. Universidad Nacional de Colombia.

Mayab, A. (2024). *¿Qué es la Ingeniería Mecatrónica y cuál es su campo laboral?* <https://merida.anahuac.mx/licenciaturas/blog/que-es-la-ingenieria-mecatronica>

Vargas, J. (2022). *Análisis de riesgos y medidas de seguridad en espacios confinados según normativa OSHA*. (Artículo de Conferencia). Congreso Internacional de Seguridad Industrial.

Zhang, Q. (2013). Design and Implementation of an Intelligent Mobile Robot System for Gas Detection in Hazardous Environments. *International Journal of Computer Applications*.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?doi=9255d9d190b0f5093ffe3cf2c7279562002ee98>

d

## Apéndices

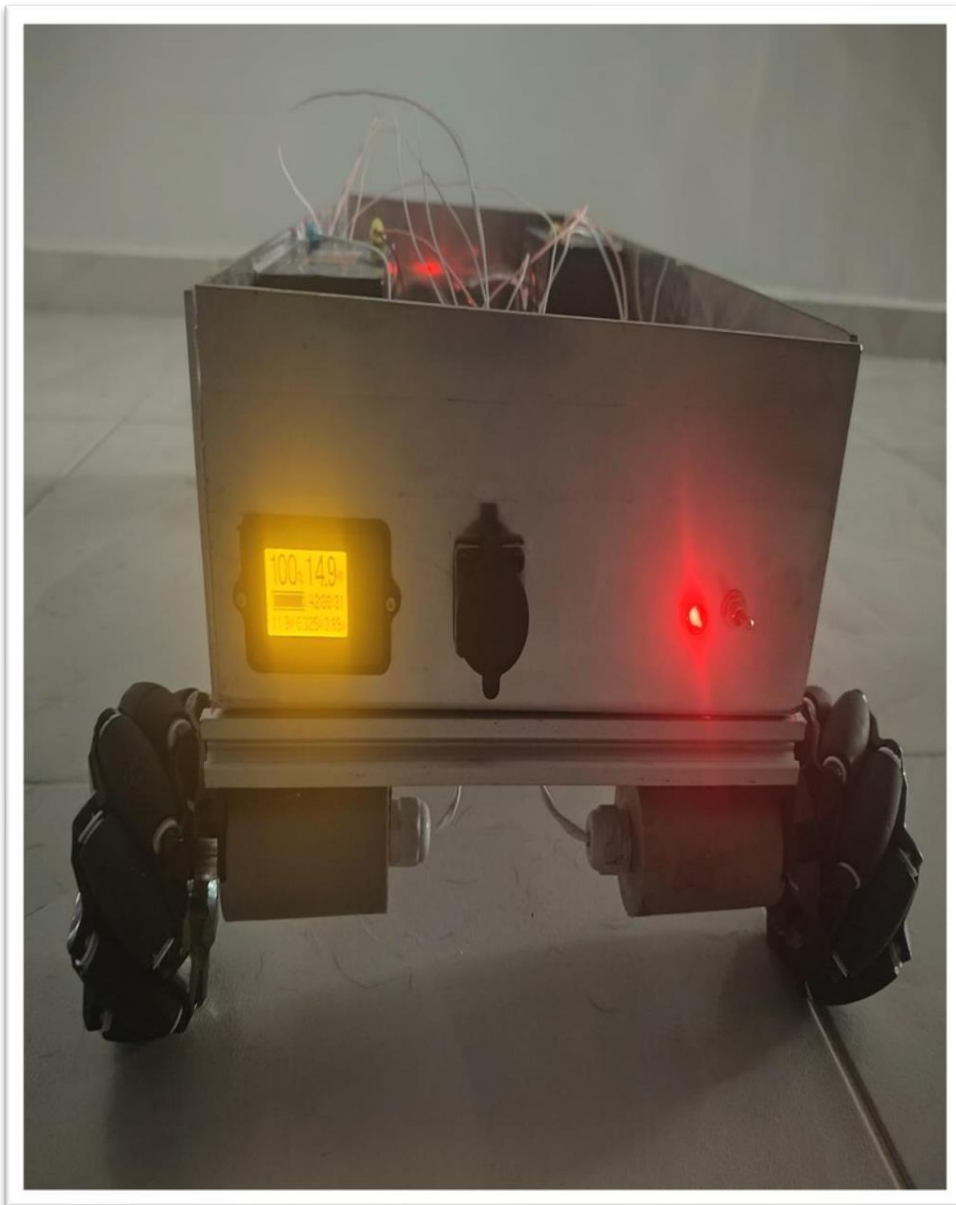
### Apéndice A

#### *Fotografía Externa del Carro Robótico*



**Apéndice B**

*Fotografía de la Interfas de Carga del Carro Robotico*



## Apéndice C

*Fotografía del Circuito Electrico y Electrónico Interno del Carro Robótico*



**Resumen Analítico Educativo  
(RAE)**

<b>Título del texto</b>	Carro robótico para supervisar pruebas de presión y medición de gases en espacios confinados
<b>Nombres y Apellidos del Autor</b>	Juan Camilo Montealegre Vanegas, Edwin Arley Trujillo Trujillo, Jhon Alexander Coronado Ramirez
<b>Año de la publicación</b>	2025
<p><b>Resumen:</b></p> <p>Este proyecto de grado tiene como objetivo el diseño, desarrollo e implementación de un carro robótico teledirigido que permita realizar mediciones de gases y supervisar pruebas de presión en espacios confinados, contribuyendo a mejorar la seguridad en el ámbito industrial. El carro robótico está diseñado para operar de manera remota, eliminando la necesidad de intervención humana directa en áreas peligrosas. Este proyecto surge a partir de una necesidad detectada en Maxim Fishing, una empresa dedicada al sector hidrocarburos, que enfrenta riesgos derivados de la exposición de su personal a atmósferas peligrosas y presiones elevadas en espacios confinados. A través del uso de tecnología avanzada en robótica móvil, sensores de gases y presión, y sistemas de comunicación remota, el prototipo ofrece una solución eficiente para realizar mediciones en tiempo real, mejorando la seguridad laboral y optimizando los procesos operativos.</p>	

<b>Palabras Claves</b>	Robótica, Sensores, Seguridad Industrial, Monitoreo, Innovación, Espacios Confinados, Maxim Fishing
<b>Problema que aborda el texto:</b>  La industria de hidrocarburos, y en particular empresas como Maxim Fishing, enfrenta desafíos significativos relacionados con la seguridad de sus trabajadores en espacios confinados. La supervisión de pruebas de presión y la medición de gases en estos entornos son tareas cruciales que, hasta la fecha, requieren la presencia de operarios en condiciones peligrosas. Estas intervenciones no solo ponen en riesgo la vida de los empleados, sino que también pueden comprometer la seguridad de las instalaciones y generar retrasos operativos. El principal problema identificado en este proyecto es la falta de un sistema adecuado que permita realizar estas tareas de forma remota y segura, minimizando la exposición humana a ambientes peligrosos y mejorando la eficiencia de los procesos industriales.	
<b>Objetivos del texto:</b>  El objetivo general del proyecto es el desarrollo de un carro robótico teledirigido que permita realizar mediciones precisas de gases y supervisar las pruebas de presión en espacios confinados de manera remota. Para lograr este objetivo, se establecen los siguientes objetivos específicos:	

**1. Identificar las especificaciones técnicas y los requisitos operativos**

necesarios para el diseño y desarrollo del carro robótico y su sistema de comunicación remota.

**2. Diseñar el sistema mecánico y electrónico del carro robótico, considerando**

aspectos como la movilidad, estabilidad y resistencia que se requieren para operar en ambientes confinados y difíciles.

**3. Integrar todos los componentes electrónicos y mecánicos del carro robótico**

para lograr un sistema autónomo de control y navegación, con la capacidad de comunicarse de manera efectiva a distancia para la supervisión de pruebas de presión y medición de gases.

**4. Realizar pruebas y ajustes reales del carro robótico, evaluando su desempeño**

en la medición de gases y monitoreo de pruebas de presión en condiciones industriales reales.

**Hipótesis planteada por el autor:**

El proyecto propone la hipótesis de que la implementación de un sistema robótico teledirigido para la medición de gases y supervisión de pruebas de presión en espacios confinados puede reducir significativamente los riesgos laborales asociados con estas tareas, mejorando la seguridad del personal y optimizando la eficiencia operativa. Se postula que el uso de tecnologías avanzadas de robótica y sensores proporcionará una

solución más eficiente y precisa que los métodos manuales actualmente utilizados en la industria.

**Tesis principal del autor:**

La tesis principal del autor es que la robótica móvil, combinada con sensores de medición y sistemas de comunicación remota, ofrece una solución viable y segura para la supervisión de pruebas de presión y la medición de gases en espacios confinados. El uso de un carro robótico permite minimizar la exposición humana a estos ambientes peligrosos, mejorando la seguridad y la eficiencia operativa en sectores industriales de alto riesgo, como el sector de hidrocarburos.

**Argumentos expuestos por el autor:**

- **Seguridad mejorada:** El carro robótico opera de manera autónoma o semiautónoma en entornos confinados, lo que elimina la necesidad de intervención humana en áreas de alto riesgo, como el interior de tanques o tuberías donde podrían estar presentes gases tóxicos o condiciones de presión extremas.
- **Eficiencia operativa:** Al automatizar el proceso de medición de gases y pruebas de presión, el carro robótico puede realizar estas tareas de manera continua, sin las limitaciones humanas de fatiga o tiempo de intervención. Esto

permite obtener datos en tiempo real y reducir los tiempos de respuesta ante posibles emergencias.

- **Reducción de costos y daños:** Al eliminar la necesidad de equipos portátiles y reducir la exposición directa del personal, el carro robótico contribuye a la disminución de costos asociados con accidentes laborales, mantenimiento de equipos y daños a la infraestructura debido a la detección tardía de fallos en las pruebas de presión o exposición a gases.
- **Tecnología avanzada:** El diseño del carro robótico integra tecnologías de vanguardia en robótica móvil, sensores avanzados para la detección de gases y medición de presión, y un sistema de comunicación remota eficiente, lo que lo convierte en una solución innovadora y escalable para la industria.

**Conclusiones del texto:**

- La implementación de un carro robótico para la medición de gases y supervisión de pruebas de presión en espacios confinados representa un avance significativo en la mejora de la seguridad laboral y la eficiencia operativa en sectores industriales de alto riesgo, como el de hidrocarburos.
- El prototipo desarrollado ha demostrado ser técnicamente viable, mostrando un buen desempeño en pruebas de campo y validación de las funciones de control remoto y sensores de medición.
- La solución propuesta ofrece un enfoque integral, alineado con las normativas de seguridad industrial y los estándares de innovación tecnológica, y puede ser adaptada y escalada para diferentes aplicaciones dentro de la industria.

**Bibliografía citada por el autor:**

Incluye referencias de estudios previos sobre robótica móvil, sensores para detección de gases, y normativas de seguridad en la industria, entre otras fuentes relevantes.

- Romero, C., & Solano, A. (2019). Diseño y prototipado de un robot móvil para inspección de tuberías. *Revista Politécnica*, 23(2), 45-60.
- Sánchez, A. (2021). Comunicación inalámbrica para aplicaciones de monitoreo industrial con NRF24L01. *Ingenium*, 4(1), 78-89.

- Mayab, A. (2024). ¿Qué es la Ingeniería Mecatrónica y cuál es su campo laboral?  
*Universidad Anáhuac Mérida.*
- Vargas, J. (2022). Análisis de riesgos y medidas de seguridad en espacios confinados según normativa OSHA. *Congreso Internacional de Seguridad Industrial.*

**Nombre y apellidos de quien**

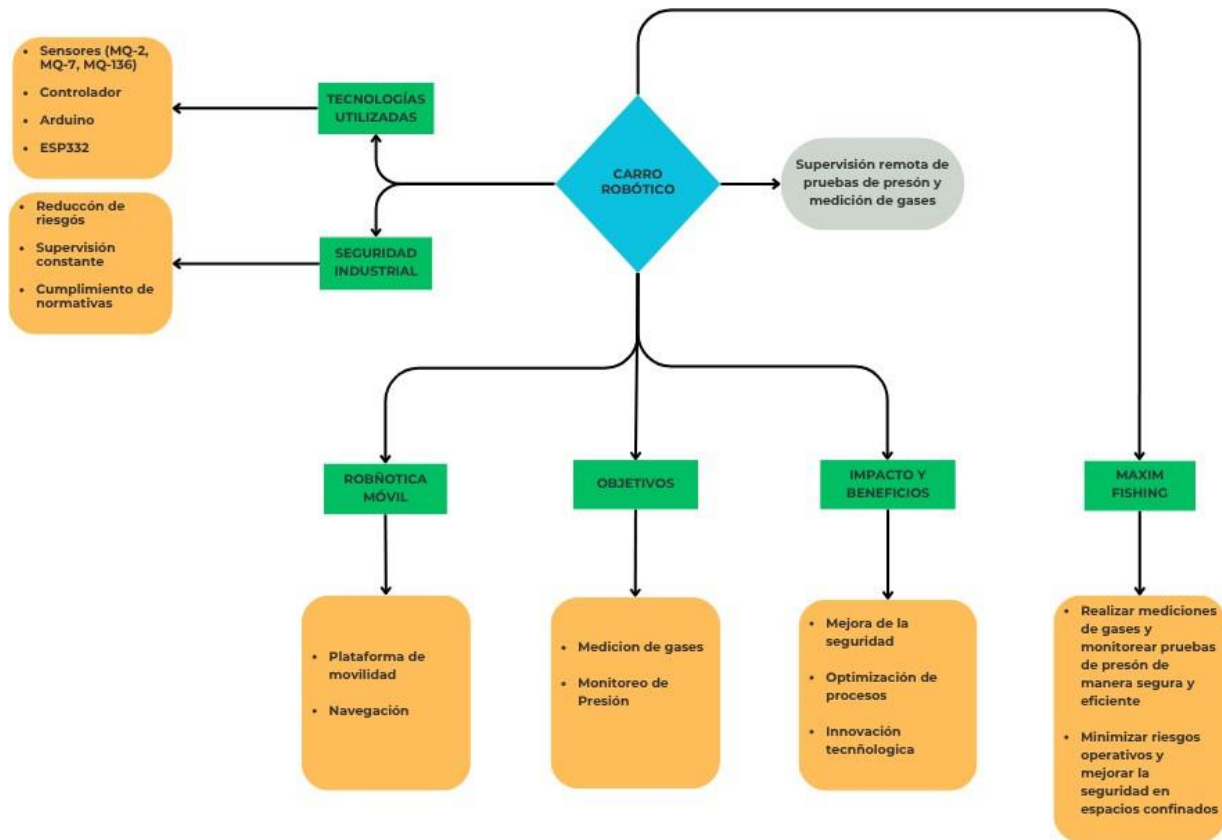
**elaboró este RAE**

Juan Camilo Montealegre Vanegas

**Fecha en que se elaboró este RAE**

04/06/2025

**Imagen (mapa conceptual) que resume e interconecta los principales conceptos encontrados en el texto:**



### Comentarios finales

El proyecto del Carro Robótico para supervisar pruebas de presión y medición de gases en espacios confinados representa una innovación clave en la mejora de la seguridad y la eficiencia operativa dentro de entornos industriales de alto riesgo, como el sector hidrocarburos. La solución propuesta aborda eficazmente los desafíos relacionados con la exposición del personal a ambientes

peligrosos, eliminando la necesidad de intervención humana en áreas confinadas, lo que reduce significativamente los riesgos laborales.

La combinación de robótica móvil, sensores avanzados y comunicación remota ha demostrado ser eficaz para garantizar mediciones precisas y en tiempo real, así como un control continuo de las condiciones operativas. El uso de un sistema de control teledirigido y un diseño robusto del carro robótico asegura una mayor autonomía, precisión en las mediciones y una notable mejora en los tiempos de respuesta ante emergencias.

El proyecto también refleja una sólida aplicación de tecnologías innovadoras, que no solo optimizan los procesos industriales, sino que también contribuyen a la sostenibilidad y seguridad en las operaciones, alineándose con las normativas internacionales de seguridad laboral. Además, la implementación de esta tecnología en Maxim Fishing ofrece una solución escalable que puede replicarse en otros sectores industriales con necesidades similares.

En conclusión, el desarrollo y la implementación de este carro robótico no solo representa una mejora en la seguridad y eficiencia, sino que también abre el camino para la adopción de tecnologías robóticas en otras industrias. Es un ejemplo claro de cómo la innovación tecnológica puede ser un factor transformador en la seguridad industrial, reduciendo riesgos, optimizando procesos y elevando los estándares operativos en industrias de alto riesgo.