

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESINA PARA OPTAR EL GRADO DE  
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO  
AUTÓNOMO DE RECONOCIMIENTO INTELIGENTE EN UN  
ROBOT CON AI PARA LUGARES DE DIFÍCIL ACCESO "**

**Sustentante:**

José Manuel Moreira Chavarría

**Tutor:**

José Alejandro Rojas López

**Noviembre, 2025**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>7</b>
<b>DECLARACIÓN JURADA</b> .....	<b>11</b>
<b>CARTA DE APROBACIÓN DE LA EMPRESA</b> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<b>CARTA DEL TUTOR</b> .....	<b>13</b>
<b>CARTA DEL LECTOR</b> .....	<b>14</b>
<b>CARTA DEL FILÓLOGO</b> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>15</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>16</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>19</b>
<b>PROBLEMA DEL PROYECTO</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>20</b>
1.1.2 Antecedentes del contexto de la empresa .....	20
<i>Evolución histórica</i> .....	23
1.1.3 Justificación del proyecto.....	27
<b>1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>29</b>
1.2.1 Contextualizado en el proyecto o gestión de proyectos.....	31
1.2.2 Formulación del problema.....	33
<b>1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>33</b>
1.3.1 Objetivo general .....	33
1.3.2 Objetivos específicos .....	33
<b>1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES</b> .....	<b>34</b>
1.4.1 Alcances.....	34
1.4.2 Limitaciones.....	34
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>36</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>36</b>
<b>2.1 CONTEXTO HISTÓRICO</b> .....	<b>38</b>
2.1.1 Orígenes de la Robótica Autónoma .....	38

<b>2.2</b>	<b>TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR O CONTEXTO TEÓRICO</b>	<b>46</b>
2.2.1	Antecedentes .....	46
<b>2.3</b>	<b>CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS TEÓRIAS.....</b>	<b>49</b>
2.3.1	Robótica Autónoma .....	51
2.3.2	Reconocimiento Inteligente e Inteligencia artificial.....	52
2.3.3	Sistema de sensores .....	55
	<i>Cámaras (RGB, estéreo, térmicas) .....</i>	<i>59</i>
2.3.4	Unidad de Procesamiento o Computadora de a Bordo.....	62
2.3.5	Sistema de Actuadores .....	65
2.3.6	Fuente de energía.....	65
2.3.7	Sistema de Navegación y Localización.....	67
2.3.8	Sistema de Comunicación .....	69
	<b><i>CAPÍTULO III.....</i></b>	<b><i>71</i></b>
	<b><i>MARCO METODOLÓGICO .....</i></b>	<b><i>71</i></b>
<b>3.1</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>72</b>
3.1.1	Enfoque de la investigación .....	72
3.1.2	Finalidad de la Investigación.....	73
3.1.3	Dimensión Temporal .....	74
3.1.4	Marco de la investigación .....	75
3.1.5	Naturaleza de la investigación.....	76
3.1.6	Carácter de la investigación .....	77
<b>3.1</b>	<b>FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>78</b>
3.1.1	Fuentes de Información Primarias .....	79
3.1.2	Fuentes secundarias .....	79
3.1.3	Sujetos de información.....	79
<b>3.2</b>	<b>TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS .....</b>	<b>80</b>
3.2.1	Observación.....	81
3.2.2	Entrevista .....	82
3.2.3	Encuesta .....	82
3.2.4	Pruebas de rendimiento .....	83
<b>3.3</b>	<b>VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>84</b>
3.3.1	Definición de variables. ....	85
<b>3.4</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>87</b>
	<b><i>CAPÍTULO IV.....</i></b>	<b><i>89</i></b>
	<b><i>DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....</i></b>	<b><i>89</i></b>
<b>4.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>90</b>
<b>4.2</b>	<b>RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS .....</b>	<b>91</b>
4.2.1	Recolección de datos .....	92

4.2.2 Instrumento para recolección de datos .....	93
<b>4.3 ANÁLISIS DE LAS ENTREVISTAS APLICADAS.....</b>	<b>93</b>
4.3.1 Análisis de las brechas .....	100
<b><i>CAPÍTULO V.....</i></b>	<b><i>106</i></b>
<b><i>DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....</i></b>	<b><i>106</i></b>
5.1 ASPECTOS DE DISEÑO .....	108
5.2 CONSTRUCCIÓN DEL PROTÓTIPO .....	110
5.3 IMPLEMENTACIÓN.....	146
5.4 ANÁLISIS DE COSTOS.....	151
5.5 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO .....	157
<i>Condiciones de funcionamiento del prototipo .....</i>	<i>159</i>
<b><i>CAPÍTULO VI.....</i></b>	<b><i>160</i></b>
<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</i></b>	<b><i>160</i></b>
6.1 CONCLUSIONES.....	161
Conclusión N° 1 .....	161
Conclusión N° 2.....	162
Conclusión N° 3.....	164
6.2 RECOMENDACIONES.....	166
Recomendación N° 1.....	166
Recomendación N° 2:.....	167
Recomendación N° 3.....	168
<b><i>BIBLIOGRAFÍA.....</i></b>	<b><i>170</i></b>
<b><i>GLOSARIO Y ACRÓNIMOS.....</i></b>	<b><i>172</i></b>
<b><i>ANEXOS .....</i></b>	<b><i>173</i></b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1 : Logo Institucional</b> .....	25
<b>Figura 2: Estructura Organizacional</b> .....	26
<b>Figura 3: Diagrama de casusa-efecto del problema</b> .....	31
<b>Figura 4: Orígenes de la Robótica Autónoma</b> .....	43
<b>Figura 5: Esquema visual: Componentes principales de un robot autónomo</b> .....	55
<b>Figura 6: Sensores (IR) y Sensor ultrasónico HC-SR04</b> .....	57
<b>Figura 7:Esquema general del sistema LIDAR</b> .....	58
<b>Figura 8:Cámaras (RGB, estéreo, térmicas)</b> .....	59
<b>Figura 9:Unidad de Medidas Inerciales (IMU)</b> .....	60
<b>Figura 10:Termistores y piro sensores o termorresistencias</b> .....	61
<b>Figura 11:Sensores de humedad</b> .....	62
<b>Figura 12:Unidad de Procesamiento</b> .....	63
<b>Figura 13: Microcontrolador Arduino y Microprocesador Raspberry Pi</b> .....	64
<b>Figura 14: Diferentes modelos de baterías LiPo</b> .....	66
<b>Figura 15: Sistema de gestión de batería de Victron</b> .....	67
<b>Figura 16: Robot Hexápodo</b> .....	70
<b>Figura 17: Tipos de fuentes de informacion</b> .....	78
<b>Figura 18: Cronograma de Implementación propuesto</b> .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Comparación de tecnologías en proyectos.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 2: Conceptos de inteligencia brindado por diferentes autores desde el punto de vista de la psicología.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 3: Variables de estudio, y sus definición conceptual y operativa .....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 4: Comparación de Actividades, Avance Actual y Brechas Pendientes .....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 5 : Criterios de diseño del prototipo autónomo de reconocimiento inteligente ....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 6 : Condiciones de funcionamiento del prototipo .....</b>	<b>159</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1: Accesorios</b> .....	111
<b>Ilustración 2: Paso 1. Se desmonta la tapa inferior de la batería</b> .....	112
<b>Ilustración 3: Paso 2. Se Instala la batería (Asegurándose de que el botón de encendido no esté presionado antes de la instalación)</b> .....	112
<b>Ilustración 4: Paso 3. Se abre la placa superior de muto.</b> .....	113
<b>Ilustración 5: a) Se retira la placa base.</b> .....	113
<b>Ilustración 6: b) Se instala la tarjeta de red</b> .....	114
<b>Ilustración 7: c) Instalar el ventilador de refrigeración</b> .....	114
<b>Ilustración 8: d) Se instala la columna de cobre.</b> .....	115
<b>Ilustración 9: e) Se instala la placa del concentrador USB.</b> .....	115
<b>Ilustración 10: f) Se instala la placa Jetson NANO.</b> .....	116
<b>Ilustración 11: a) Instalación de la columna de cobre</b> .....	117
<b>Ilustración 12: b) Instalación de la placa de HUB USB.</b> .....	117
<b>Ilustración 13: c) Instalación de la placa de expansión de la fuente de alimentación.</b> .....	118
<b>Ilustración 14: d) Instalación del enfriador cool cooler PI 50.</b> .....	118
<b>Ilustración 15: e) Instalación de la placa Raspberry Pi.</b> .....	119
<b>Ilustración 16: f) Instalación de la placa adaptadora dual Tipo -c.</b> .....	119
<b>Ilustración 17: Paso 6. Instalación del altavoz (módulo de voz)</b> .....	120
<b>Ilustración 18: a) Instalación del soporte</b> .....	120
<b>Ilustración 19: b) Instalación de la cámara de profundidad.</b> .....	121
<b>Ilustración 20: Paso 8. Instalación del pilar de cobre del módulo de voz (módulo de voz opcional)</b> .....	121

<b>Ilustración 21: Paso 9: Instalación de la antena Jetson NANO.....</b>	<b>122</b>
<b>Ilustración 22: Paso 10. Se cierra la placa superior de muto. ....</b>	<b>122</b>
<b>Ilustración 23: Paso 11. Instalación de la pantalla OLED.....</b>	<b>123</b>
<b>Ilustración 24: Paso 12. Instalar OLED.....</b>	<b>123</b>
<b>Ilustración 25: Paso 13. Instalación del módulo de voz. ....</b>	<b>124</b>
<b>Ilustración 26: a) Se debe instalar la placa adaptadora de Lidar. ....</b>	<b>124</b>
<b>Ilustración 27: b) Se instala el pilar de cobre. ....</b>	<b>125</b>
<b>Ilustración 28: c) Se instala la placa de acrílico en el Lidar 4ROS.....</b>	<b>125</b>
<b>Ilustración 29: d) Se instala el Lidar 4ROS.....</b>	<b>126</b>
<b>Ilustración 30: a) Se instala la placa adaptadora de Lidar.....</b>	<b>126</b>
<b>Ilustración 31: b) Se instala el pilar de cobre.....</b>	<b>127</b>
<b>Ilustración 32: c) Se instala la placa de acrílico en el lidar A1.....</b>	<b>127</b>
<b>Ilustración 33: d) Instalación del lidar A1. ....</b>	<b>128</b>
<b>Ilustración 34: Paso 16: Se instala la memoria USB/tarjeta TF.....</b>	<b>128</b>
<b>Ilustración 35: a). Placa de expansión para robot Muto .....</b>	<b>129</b>
<b>Ilustración 36: b) Placa de expansión USB HUB.....</b>	<b>129</b>
<b>Ilustración 37: c) Placa de expansión de fuente de alimentación. ....</b>	<b>130</b>
<b>Ilustración 38: d) Módulo de interacción por voz.....</b>	<b>130</b>
<b>Ilustración 39 : e) Instalacion del GMS.....</b>	<b>131</b>
<b>Ilustración 40: B) Interfaz de la placa JETSON NANO de 4GB .....</b>	<b>131</b>
<b>Ilustración 41: C) Diagrama de conexión de la versión Jetson NANO. ....</b>	<b>132</b>
<b>Ilustración 42: D) Diagrama de conexión de la versión Raspberry Pi.....</b>	<b>133</b>
<b>Ilustración 43: E) Diagrama de cableado del módulo OLED. ....</b>	<b>134</b>

<b>Ilustración 44: F) Instrucciones de conexión del receptor.....</b>	<b>134</b>
<b>Ilustración 45: G) Instrucciones de cableado del enfriador Pi 50. ....</b>	<b>135</b>
<b>Ilustración 46: H) Instrucciones para la Carga .....</b>	<b>135</b>
<b>Ilustración 47: b) Apagar el interruptor de alimentación del robot. ....</b>	<b>136</b>
<b>Ilustración 48: Cuando se está cargando, la luz indicadora del cargador es roja .....</b>	<b>136</b>
<b>Ilustración 49: I) Se Inicia el robot J) Conectar el robot Muto .....</b>	<b>138</b>
<b>Ilustración 50: J) Conectar el robot Muto .....</b>	<b>138</b>
<b>Ilustración 51: K) Introducción a la función de la APP (Control remoto) .....</b>	<b>139</b>
<b>Ilustración 52: El ícono [control remoto] .....</b>	<b>139</b>
<b>Ilustración 53: Rendimiento. ....</b>	<b>140</b>
<b>Ilustración 54: Las ocho acciones preestablecidas se ejecutan una vez por clic .....</b>	<b>141</b>
<b>Ilustración 55: El ícono [FPV Control] .....</b>	<b>141</b>
<b>Ilustración 56: FPV Control.....</b>	<b>142</b>
<b>Ilustración 57: Monitoreo de datos .....</b>	<b>142</b>
<b>Ilustración 58: Interfaz de Monitoreo de Datos.....</b>	<b>143</b>
<b>Ilustración 59: Muto Robot, Calibración de robots.....</b>	<b>144</b>
<b>Ilustración 60: La APP, de la interfaz de calibración del robot.....</b>	<b>144</b>
<b>Ilustración 61: Interfaz de los comandos de las seis patas del robot.....</b>	<b>145</b>
<b>Ilustración 62: Aplicación HexaMind UI.....</b>	<b>146</b>
<b>Ilustración 63: Navegación autónoma y comunicación del robot.....</b>	<b>147</b>
<b><i>Ilustración 64: Lista de empaque .....</i></b>	<b>151</b>
<b>Ilustración 65: Accesorios de Raspberry Pi .....</b>	<b>152</b>
<b>Ilustración 66: Paquete de interacción por voz (Voice interaction package).....</b>	<b>152</b>

**Ilustración 67: 1)Jetson Nano 4GB Accessories, 2) Slam A1 Lidar , 3)YDLIDAR 4ROS  
Lidar (Complementos de Jetson Nano 4GB, Lidar Slam A1, Lidar YDLIDAR 4ROS) 153**

# DECLARACIÓN JURADA

## DECLARACIÓN JURADA

Yo Jose Manuel Moreira Chavarria, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 402050879 egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de bachiller en ingeniería electrónica juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: "Implementación de un prototipo Autónomo de reconocimiento inteligente en un robot hexapoda y AI".

\_\_\_\_\_ es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 10 días del mes de 9 del año dos mil 25.

  
 \_\_\_\_\_  
 Firma del estudiante

Cédula: 402050879



**Escuela de Ingeniería Electrónica**

**Fórmula de Aprobación de Tutor y Tema para  
Ejecución del Requisito de Graduación**

**Fecha: 26-05-2025**


**Nombre del estudiante: MOREIRA CHAVARRIA JOSE MANUEL**

**Tutor Asignado: Jose Alejandro Rojas**

**Tema:**

**Implementación de un Prototipo Autónomo de Reconocimiento Inteligente  
en un Robot Hexápodo y AI**

**Firma del Estudiante:**

  
M.Ch.

**Aprobado: X**

**Reprobado:**

**Firma del Director (a):**

LUIS  
FERNANDO  
BOGANTES  
MORA (FIRMA)

Firmado digitalmente  
por LUIS FERNANDO  
BOGANTES MORA  
(FIRMA)  
Fecha: 2025.05.26  
12:07:33 -06'00'

## CARTA DEL TUTOR



San José, 10 de setiembre del 2025

## CARTA DEL TUTOR

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante **José Manuel Moreira Chavarria**, cédula de identidad número **4-0205-0879**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: **"Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con ai para lugares de difícil acceso"** el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

**Tabla 1** Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	8
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	16
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	20
	<b>Total:</b>	<b>100</b>	<b>90</b>

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

**Ing. José Alejandro Rojas López**  
**Cédula de identidad: 1 1079 0035**  
**Carné Colegio Profesional: N° IEL-15888**

## CARTA DEL LECTOR



### CARTA DEL LECTOR

San José, 9 de diciembre del 2025

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante José Manuel Moreira Chavarría, cédula de identidad número 4-0205-0879, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación titulado *"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO AUTÓNOMO DE RECONOCIMIENTO INTELIGENTE EN UN ROBOT CON AI PARA LUGARES DE DIFÍCIL ACCESO"*, el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

JORGE VILLALOBOS CASCANTE (FIRMA)  
Firmado digitalmente por JORGE VILLALOBOS CASCANTE (FIRMA)  
Fecha: 2025.12.09 18:18:34 -06'00'

---

Ing. Jorge Villalobos Cascante, MSc.  
Cédula de identidad: 1-1185-0467  
Carné colegio profesional: IEL-22656

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)  
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA  
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, 15 de enero 2026

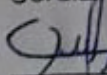
Señores:  
Universidad Hispanoamericana  
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Jose Manuel Moreira Chavarría con número de identificación 402050879 autor (a) del trabajo de graduación titulado Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un Robot con AI para lugares de difícil acceso presentado y aprobado en el año 2026 como requisito para optar por el título de Bachillerato en ingeniería electrónica; (SI/ NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

  
J.M.C.H. 402050879  
Firma y Documento de Identidad

**ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)  
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y  
PERMITIR LA CONSULTA Y USO**

**Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional**

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

**SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.**

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por ser la fuente inagotable de amor, fortaleza y sabiduría. Su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y su ejemplo de perseverancia me han inspirado a continuar adelante en los momentos más difíciles. Cada logro alcanzado en este proceso lleva impreso su sacrificio y dedicación.

A mi hermano, por estar siempre presente con su comprensión, compañía y confianza en mis capacidades. Su apoyo constante ha sido un pilar fundamental que me ha motivado a seguir creciendo personal y profesionalmente.

A todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a hacer posible este proyecto: familiares, docentes, compañeros y amigos. Su colaboración, consejos y entusiasmo fueron esenciales para culminar esta meta. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento por creer en este sueño y acompañarme en el camino hacia su realización.

***José Manuel Moreira Chavarría***

## **AGRADECIMIENTO**

El presente proyecto está dedicado a Dios, cuya luz y guía han sido fundamentales a lo largo de este arduo proceso en mi carrera profesional, su presencia me ha fortalecido y me ha permitido superar los desafíos y alcanzar este logro con gratitud y humildad.

A mi madre y hermano, por su amor incondicional y apoyo constante, que me han dado la fuerza para seguir adelante en cada momento. Gracias por creer en mí y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles.

*José Manuel Moreira Chavarría*

## RESUMEN

El presente proyecto titulado "Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con AI para lugares de difícil acceso " se realizó con el fin de poner a disposición de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), Cruz Roja y Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, un prototipo que en un futuro pueda ponerse en práctica y colaborar en los rescates cuando suceden fenómenos meteorológicos como derrumbes, inundaciones, terremotos entre otros, por lo que por medio de una prueba de conceptos y exploraciones de soluciones se puede contribuir con estas instituciones.

Por lo tanto, el objetivo principal de este proyecto fue “Desarrollar un prototipo autónomo de robot con capacidades de reconocimiento inteligente que mejore la eficiencia y efectividad en la respuesta ante emergencias para la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) en Costa Rica durante el primer periodo del 2025” así mismo se formularon cuatro objetivos específicos: 1. Investigar las tecnologías actuales en robótica y sistemas de inteligencia artificial aplicados a emergencias. 2. Diseñar un sistema de reconocimiento que permita la identificación de personas y evaluación de estructuras colapsadas. 3. Implementar un algoritmo de navegación autónoma para el robot. 4. Evaluar el rendimiento del prototipo en condiciones simuladas de emergencia.

La metodología empleada fue mixta, ya que integra elementos tanto cuantitativos como cualitativos para obtener una visión más completa y profunda del fenómeno en estudio. La finalidad de la investigación estuvo enfocada en la solución de un problema real que afecta directamente los procesos de atención ante emergencias comprometidas por desastres naturales en Costa Rica, lo que implica la integración de conocimientos técnicos de áreas como la

robótica, la inteligencia artificial, los sistemas de navegación autónoma y el reconocimiento de patrones visuales, con el objetivo de generar una herramienta tecnológica útil para los equipos de rescate.

Igualmente se aplicaron tres entrevistas como herramientas para la recolección de datos, además de la observación y pruebas de rendimiento del prototipo, las variables del proyecto fueron: Variable 1: Relevancia y aplicabilidad de tecnologías; Variable 2: Precisión en la identificación y evaluación; Variable 3: Capacidad de desplazamiento autónomo; Variable 4: Rendimiento del prototipo.

Por otro lado, para su implementación, se creó una aplicación denominada HexaMind UI, esencial para integrar las funciones de reconocimiento inteligente, navegación autónoma y comunicación del robot en entornos de difícil acceso y como prueba de concepto. Asimismo, se realizó un análisis de costos, se contemplaron aspectos eléctricos, de mantenimiento preventivo, revisiones periódicas de hardware y software, así como la correcta gestión de las conexiones básicas.

Por último, de llego a la conclusión que, si bien este prototipo es viable para el futuro tecnológico, hubo aspectos de funcionamiento que no se pudieron ejecutar, por lo que se recomienda seguir estudiando y haciendo diferentes pruebas para que este prototipo sea funcional para rescates de personas o animales que se ocasionan en emergencias en provocados por fenómenos naturales.

**CAPÍTULO I**  
**PROBLEMA DEL PROYECTO**

## **1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1.1 Introducción**

El presente trabajo de tesina se enfoca en el diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente, un robot con inteligencia artificial (IA), capaz de operar en entornos hostiles o de difícil acceso.

Este robot integrará sensores avanzados, sistemas de visión artificial y algoritmos de aprendizaje automático para desplazarse de manera autónoma, detectar obstáculos, analizar el entorno y transmitir información relevante en tiempo real.

Todo lo antes expresado con el fin de colaborar en el ámbito de la gestión de emergencias y la exploración de entornos de difícil acceso, dado que es conveniente modernizar la tecnología por que juega un papel crucial en la mejora de la seguridad y eficiencia operativa en situaciones como desastres naturales, derrumbes, incendios o zonas contaminadas, donde el acceso humano puede ser riesgoso o incluso imposible.

Todo lo antes expuesto, genera la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras que permitan la inspección y recopilación de información sin comprometer la integridad de los equipos de rescate, pero sobre todo de optimizar la búsqueda en desastres naturales con impactos severos en la población, la infraestructura y el medio ambiente, lo que hace fundamental la planificación y respuesta efectiva ante emergencias.

### **1.1.2 Antecedentes del contexto de la empresa**

De acuerdo con la Ley 8488, la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), es la institución rectora en materia de gestión y coordinación del Sistema Nacional. (Comisión Nacional de Emergencias , 2025),

Es un órgano de desconcentración máxima adscrito a la Presidencia de la República, con personería jurídica instrumental para el manejo y la administración de su presupuesto y para la inversión de sus recursos, con patrimonio y presupuesto propio. Su domicilio estará en la capital de la República, donde tendrá su sede principal.

Desde el 2006, el país cuenta con la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488 que supera una serie de vacíos de legislaciones anteriores que limitaban el accionar de la institución.

Introduce, además, el concepto de prevención de riesgo y da un giro en el accionar institucional: regula la actividad extraordinaria que el Estado frente a un estado de emergencia, así como poner en práctica las acciones de prevención en todo el territorio nacional.

También, faculta a la CNE a coordinar el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Emergencias, en donde cada institución debe participar en los temas específicos de su competencia y colaborar con los comités locales de prevención de riesgo y atención de emergencias.

Teniendo en consideración lo anterior resulta importante conocer el enfoque de la CNE, por este motivo analizar la misión, visión y los valores institucionales permitirá saber si la prevención de riesgos y atención de emergencias están contemplados, por tal motivo se muestra tal información.

### ***Misión***

La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias es la institución rectora de la política del Estado en Gestión del Riesgo, promueve, organiza, dirige

y coordina el funcionamiento del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo y la ejecución de su Plan Nacional. Contribuye a reducir la vulnerabilidad, salvaguardar la vida humana y el bienestar de los habitantes del país. (Vallejo & Picado, 2014) (p.5)

### ***Visión***

La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias como rectora del Sistema Nacional de Gestión Riesgo consolidado, capaz de prevenir las causas y atender las consecuencias de los desastres. (Vallejo & Picado, 2014) (p.5)

### ***Valores institucionales***

**Liderazgo:** El valor del liderazgo permite a los directores de la institución, así como a la misma entidad marcar el camino, aún en momentos difíciles.

**Solidaridad:** El valor de la solidaridad refuerza la conciencia del funcionario para asistir y servir en busca del bienestar de los más necesitados

**Transparencia:** La transparencia es el valor que lleva al funcionario a crear mecanismos eficientes para el manejo de bienes y recursos de la institución Es al final un medio para rendir cuentas ante los ciudadanos.

**Compromiso:** Ser funcionario de la CNE significa asumir un compromiso con la misión de la institución y con el servicio que presta ante las necesidades de la ciudadanía. (Vallejo & Picado, 2014)(p.6)

### ***Junta Directiva de la CNE***

Un presidente(a) designado por el Poder Ejecutivo, vía decreto, y presidirá la Junta.

Los ministros(as) de: Presidencia, Obras Públicas y Transportes, Hacienda, Seguridad Pública, Salud, de Vivienda Asentamientos Humanos, Ambiente y Energía.

Los presidentes(as) ejecutivos(as) del: Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS) y del Instituto Nacional de Seguros (INS).

Un(a) representante de la Cruz Roja, designado por esta misma organización.” (Ley 8488, 2006) (Vallejo & Picado, 2014) (p.6)

### ***Evolución histórica***

Los antecedentes históricos según la (Comisión Nacional de Emergencias , 2025) se remonta a los años 1964, cuando la atención de emergencias en Costa Rica estuvo a cargo de la Oficina de Defensa Civil. En 1969, se promulgó la primera Ley Nacional de Emergencia, tras la actividad de los volcanes Irazú y Arenal, estableciendo el Fondo de Emergencias y la Comisión Nacional de Emergencias (CNE). En 1974, se formalizó la Oficina de la CNE dentro del MOPT.

En 1983, una reforma permitió al Poder Ejecutivo declarar emergencias en cualquier sector, aumentando los recursos financieros para la CNE. En 1986, la entidad se institucionalizó y la Oficina de Defensa Civil desapareció.

Desde los años 90, se fortaleció la prevención y mitigación del riesgo, estableciendo comités de emergencia como principal mecanismo de organización, por medio del Reglamento de Organización y Funcionamiento de los Comités Regionales, Municipales y Comunales de Emergencia, Acuerdo:123, emitido por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias y que en su Artículo N° 1 dispone: “El presente Reglamento regula

el nombramiento, coordinación, organización y funcionamiento de los Comités Regionales, municipales y Comunales de Emergencia.” (La Junta Directiva de la CNE, 2009)(p.2)

Así mismo es importante señalar, que dentro del (Sistema Nacional de Gestión de Riesgo, 2025) se contemplan los Comités Comunales de Emergencias (CCE), en donde se señala que:

Se articulan a partir de la participación de representantes de la sociedad civil, representantes de organizaciones comunales, representantes institucionales en la comunidad, organizaciones no gubernamentales y empresa privada. Su ámbito de acción es el nivel de distrito, poblado o barrio, su organización, seguimiento y asesoría, será responsabilidad de los Comités Municipal de Emergencia, con la supervisión del Oficial de Enlace y la capacitación del área de Formación y Capacitación. (párr. 1)

En 1993, el Plan Nacional de Emergencia fue aprobado, y en 1999 se promulgó una nueva Ley (Ley Nacional de Emergencia N° 7914 , 1999), posteriormente modificada con la (Costa Rica, Leyes y decretos, 2006) Ley N°. 8488, que asignó a la CNE responsabilidades en prevención y gestión del riesgo en su CAPÍTULO I - Disposiciones generales- Artículo 1°- Objeto, en el cual expresa:

La presente Ley regulará las acciones ordinarias, establecidas en su artículo 14, las cuales el Estado Costarricense deberá desarrollar para reducir las causas de las pérdidas de vidas y las consecuencias sociales, económicas y ambientales, inducidas por los factores de riesgo de origen natural y antrópico; así como la actividad extraordinaria que el Estado deberá efectuar en casos de estado de emergencia, para lo cual se aplicará un régimen de excepción. (p.1)

Esta ley se alineó con iniciativas internacionales como la Declaración de Guatemala II (1999) y las resoluciones de Naciones Unidas. Además, enfatizó la planificación y coordinación interinstitucional para la gestión del riesgo, consolidando la relación entre prevención y respuesta ante emergencias. (pág. 1 – 12)

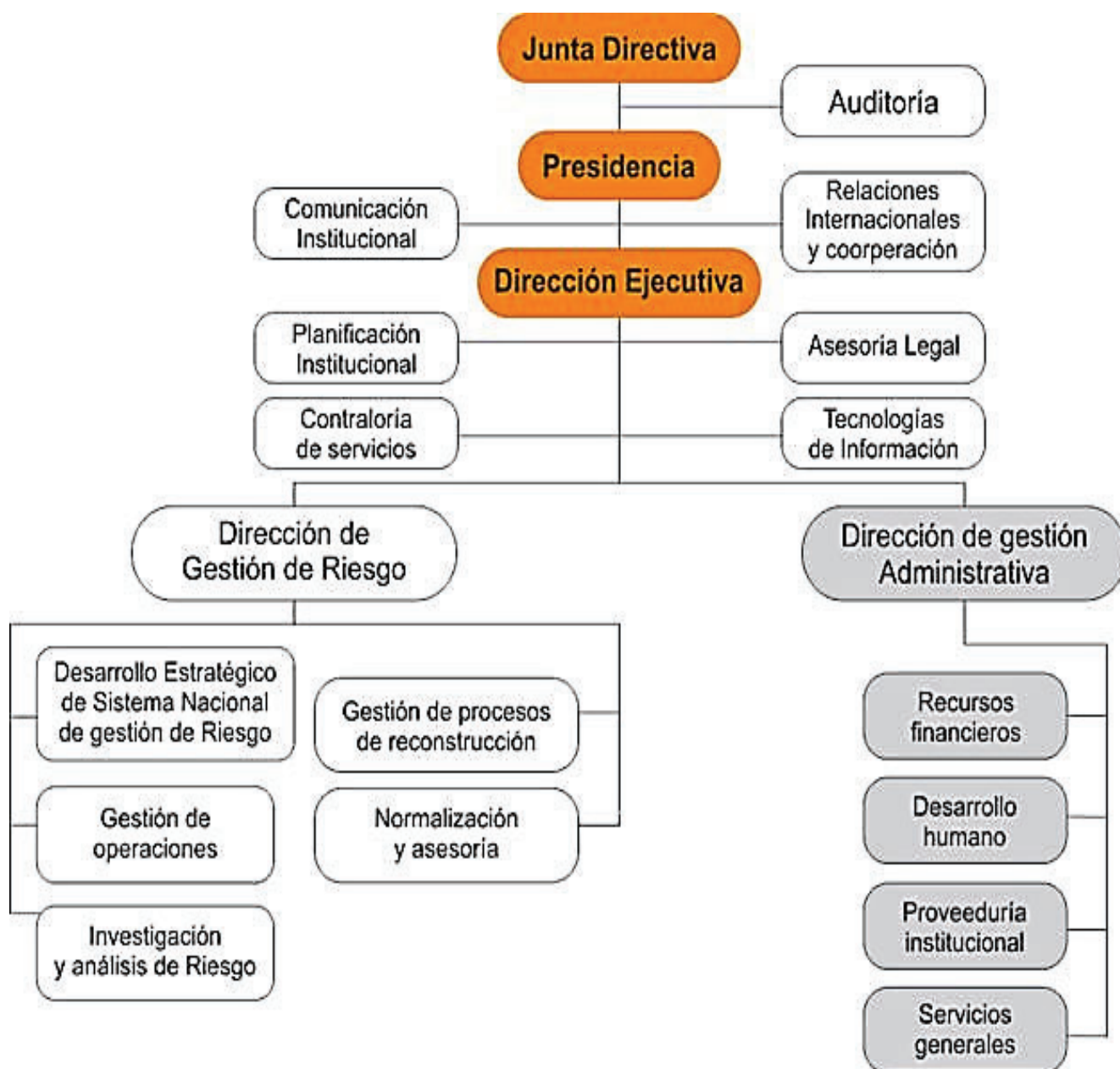
**Figura 1 :**

*Logo Institucional*



*Fuente: (Comisión Nacional de Prevención de Riesgos , 2025)*

Figura 2:

*Estructura Organizacional*

*Fuente:* Versión aprobada por MIDEPLAN. Oficio DM-178-11 con fecha 6 -04-2011 (Vallejo & Picado, 2014) y (Comisión Nacional de Prevención de Riesgos , 2025)

### 1.1.3 Justificación del proyecto

Para justificar la implementación del prototipo autónomo de reconocimiento inteligente, se tomarán en cuenta las estadísticas e informes de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) como los que se enuncian a continuación: 1. El ineficiente tiempo promedio de despliegue de equipos de emergencia en zonas de difícil acceso. 2. La falta de áreas inexploradas debido a la peligrosidad para el personal de rescate. 3. Falta de precisión de los sistemas actuales en la identificación de personas u objetos entre o debajo de los escombros. 4. Número de incidentes donde la falta de información en tiempo real retrasó la respuesta. (Comisión Nacional de Emergencia)(s/p)

Así mismo, la gestión de emergencias en Costa Rica, enfrenta múltiples desafíos debido a la compleja geografía del país, la vulnerabilidad ante fenómenos naturales y las limitaciones en el acceso a zonas afectadas, es por ello, que, ante esta realidad, la incorporación de tecnología avanzada en operaciones de búsqueda, rescate y evaluación de daños es esencial para optimizar la respuesta ante desastres naturales.

Ante este panorama, el Robot con Inteligencia Artificial (AI) se propone como una solución innovadora que fortalecerá las capacidades operativas de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), permitiendo la exploración segura y eficiente de terrenos inestables, áreas colapsadas y zonas de difícil acceso tras eventos como terremotos, inundaciones y deslizamientos.

Por consiguiente, es necesario señalar, que las razones claves para su implementación son por ejemplo, la movilidad adaptativa y el acceso a terrenos hostiles, dado que su diseño de seis patas permite desplazarse en terrenos irregulares donde vehículos tradicionales y drones no pueden operar con facilidad, de igual manera, puede acceder a escombros, zonas de difícil

tránsito y espacios reducidos, facilitando la localización de víctimas atrapadas. (TechFormacion, 2025)

Otra razón importante, es la autonomía y análisis en tiempo real con inteligencia artificial, ya que este robot está equipado con sensores avanzados (cámaras térmicas, LIDAR, detección de gases y micrófonos de alta sensibilidad), el robot puede identificar personas, estructuras inestables y peligros ambientales, por medio de la inteligencia artificial, admite la toma de decisiones autónomas y el procesamiento de datos en tiempo real para mejorar la precisión en las misiones de rescate. (TechFormacion, 2025) (párr.30)

De igual manera, las razones que justifican la implementación de este prototipo, son también la reducción del riesgo para los equipos de rescate debido a que puede explorar áreas peligrosas antes de que los rescatistas ingresen, minimizando la exposición humana en entornos inestables o contaminados, así mismo, se integra con sistemas de monitoreo y gestión de emergencias, proporcionando información detallada que facilita una respuesta rápida y coordinada, por poder operar en conjunto con drones y otros dispositivos para una cobertura más amplia del área afectada.

Esta tecnología innovadora permite la sostenibilidad y optimización de recursos, reduciendo la dependencia de personal en misiones de alto riesgo, optimizando el uso de recursos humanos y logísticos, ya que su desarrollo y mantenimiento pueden alinearse con estrategias de innovación y desarrollo tecnológico en Costa Rica, promoviendo la investigación aplicada en robótica e inteligencia artificial.

Es por todo lo expuesto que este proyecto se justifica porque la implementación del Robot con AI representa una herramienta estratégica para la CNE, mejorando la capacidad de

respuesta ante emergencias, aumentando la seguridad del personal de rescate, su versatilidad, inteligencia artificial y capacidad de operar en entornos extremos lo convierten en una solución innovadora que contribuirá a salvar vidas, optimizar recursos y fortalecer la resiliencia nacional frente a desastres, la necesidad de implementar un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un Robot y AI", permitirá dar soluciones en tiempo real y con mayor prontitud que en la actualidad. (Fernández, 2024) (párr. 4-6)

## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Costa Rica es un país altamente vulnerable a desastres naturales como terremotos, inundaciones, deslizamientos y erupciones volcánicas, lo que representa un desafío constante para los equipos de emergencia. En situaciones de crisis, la rapidez y seguridad en la evaluación de daños, localización de víctimas y acceso a zonas afectadas son fundamentales para reducir pérdidas humanas y materiales.

Sin embargo, la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) enfrenta dificultades para realizar operaciones de rescate eficientes debido a:

**Dificultad de acceso a zonas de desastre:** En muchos casos, el terreno inestable, el colapso de estructuras y el aislamiento de comunidades impiden que los equipos de rescate lleguen rápidamente a las áreas afectadas.

**Riesgo para el personal de emergencia:** Los rescatistas deben ingresar a entornos peligrosos, como edificaciones colapsadas o áreas con riesgo de nuevos derrumbes, poniendo en peligro sus vidas.

**Falta de herramientas tecnológicas avanzadas:** Actualmente, la CNE no cuenta con dispositivos autónomos que puedan asistir en la exploración y análisis de zonas de desastre,

dependiendo en gran medida de drones y equipos convencionales que pueden tener limitaciones en ciertas condiciones.

**Tiempo crítico en la búsqueda de víctimas:** La rapidez con la que se localiza y rescata a personas atrapadas es crucial, ya que las primeras 72 horas son esenciales para la supervivencia en casos de derrumbes o desastres naturales. (INFORME Nro. DFOE-AE-IF-00011-2019 , 2019)(p.6)

Ante esta problemática, el Robot con Inteligencia Artificial se plantea como una solución tecnológica innovadora que permitiría a la CNE mejorar la capacidad de respuesta ante emergencias, optimizando la localización de víctimas, la evaluación de infraestructuras y la reducción del riesgo para los rescatistas. Este robot, gracias a su movilidad adaptativa, sensores avanzados y capacidad de análisis en tiempo real, facilitaría una intervención más eficiente en escenarios críticos, ayudando a salvar vidas y mejorar la gestión de desastres en Costa Rica.

Este proyecto busca analizar la viabilidad de desarrollar y aplicar un robot autónomo, capaz de operar en terrenos irregulares y recopilar información crítica en tiempo real, con el objetivo de fortalecer la gestión del riesgo y la toma de decisiones en situaciones de emergencia.

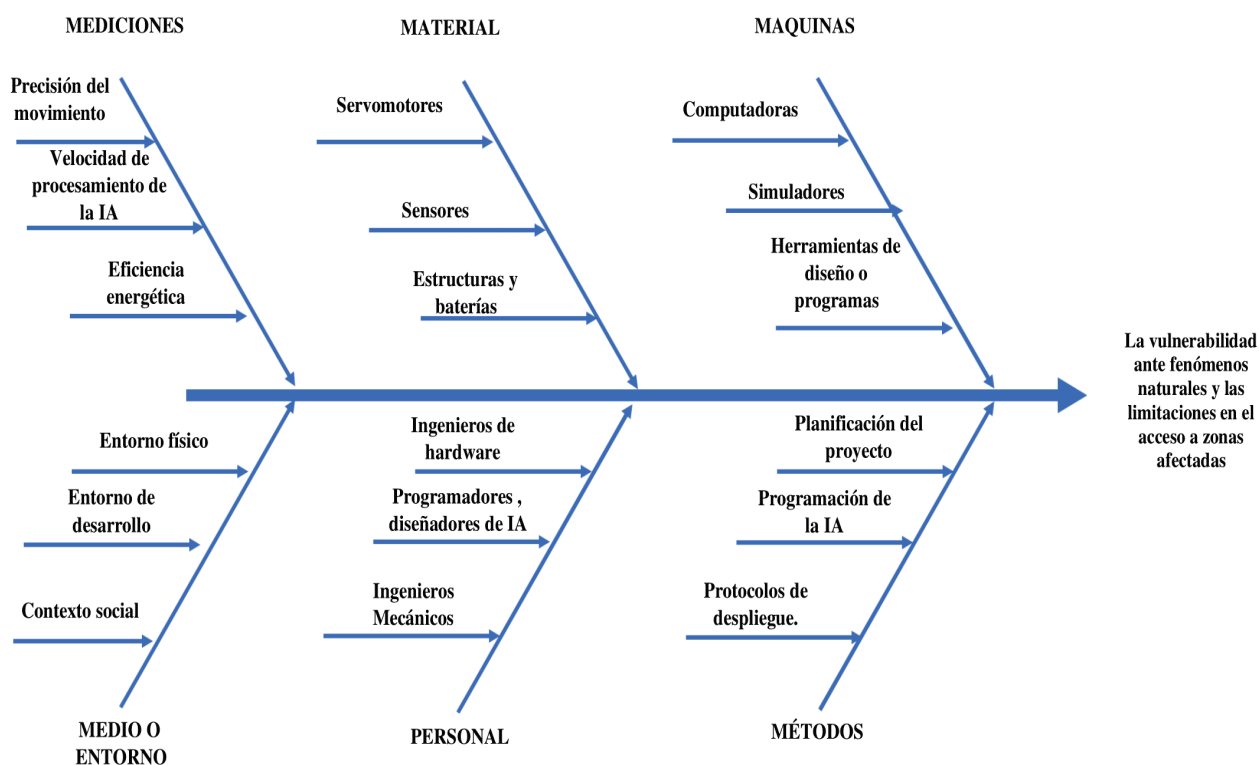
Es por ello que a continuación por medio de un diagrama de causa-efecto también conocido como diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado, diseñado como una herramienta que sirve para analizar las causas del problema y además visualizar cómo diferentes factores pueden contribuir a un efecto no deseado.

Parafraseando a (Dumas, 2018), este diagrama permite desglosar de manera estructurada las posibles causas de un problema en categorías específicas, facilitando el análisis y la toma de decisiones para encontrar soluciones efectivas. (s/p)

La estructura del diagrama de Ishikawa, que tiene una forma similar a la de un pez, donde la cabeza representa el problema o efecto que se desea analizar, la columna vertebral es una línea horizontal que conecta las causas con el efecto principal, las ramas principales representan las categorías generales de las causas, y las subramas detallan causas específicas dentro de cada categoría.

**Figura 3:**

*Diagrama de casusa-efecto del problema*



**Fuente:** De información obtenida del contacto de la empresa (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

### 1.2.1 Contextualizado en el proyecto o gestión de proyectos

En la gestión del proyecto, las "6M" son un conjunto de factores que se deben controlar para garantizar el éxito, estas son:

**Mediciones:** Este aspecto se refiere a las métricas de desempeño del robot, que pueden incluir la precisión del movimiento de las patas del hexápodo, la velocidad de procesamiento de la IA, la capacidad de aprendizaje del sistema, la eficiencia energética, la estabilidad del robot al caminar, entre otras. Las mediciones permiten evaluar si el robot está cumpliendo con los requisitos establecidos y optimizarlo.

**Materiales:** Los materiales son los componentes físicos del robot, como los servomotores, sensores (para visión, movimiento y proximidad), actuadores, estructuras metálicas o plásticas, baterías, entre otros. La calidad y características de estos materiales determinarán el rendimiento, la durabilidad y la eficiencia energética del robot.

**Máquinas:** Aquí se hace referencia a las herramientas y equipos necesarios para el diseño, fabricación y prueba del robot. Esto incluye tanto las máquinas físicas que ayudan a construir el robot, como las máquinas computacionales necesarias para simular comportamientos, entrenar la IA, y ejecutar los algoritmos.

**Medio o Entorno:** El entorno se refiere tanto al entorno físico donde el robot será utilizado (por ejemplo, el tipo de superficie, obstáculos, condiciones climáticas) como al entorno de desarrollo (como los lenguajes de programación, las plataformas de IA, los simuladores, etc.). También puede referirse al contexto social y de mercado, es decir, para qué se diseñó el robot y quiénes son los usuarios o beneficiarios de su uso.

**Mano de obra o personal:** Este aspecto se refiere al equipo humano involucrado en el desarrollo del robot. Es crucial contar con ingenieros de hardware, programadores de software, diseñadores de IA, y otros especialistas que colaboren para integrar las distintas disciplinas necesarias, como la mecánica, electrónica y programación.

**Métodos:** Se refiere a las estrategias y metodologías utilizadas en el desarrollo del robot. Esto incluye la planificación y gestión del proyecto, así como los enfoques de programación de IA (como el aprendizaje automático, redes neuronales o control adaptativo). También abarca el diseño del sistema de control y la simulación de los movimientos del robot.

### **1.2.2 Formulación del problema.**

Ante la problemática planteada, surge la necesidad de integrar soluciones tecnológicas avanzadas que optimicen la respuesta ante desastres, permitiendo un reconocimiento seguro y eficiente de áreas de difícil acceso. En este contexto, ¿Cómo puede la implementación de un Robot con Inteligencia Artificial mejorar la capacidad de respuesta de la CNE, facilitando la exploración de zonas afectadas y reduciendo el riesgo para el personal de rescate?

## **1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar un prototipo autónomo de robot con capacidades de reconocimiento inteligente que mejore la eficiencia y efectividad en la respuesta ante emergencias para la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) en Costa Rica durante el primer periodo del 2025

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Investigar las tecnologías actuales en robótica y sistemas de inteligencia artificial aplicados a emergencias.
2. Diseñar un sistema de reconocimiento que permita la identificación de personas y evaluación de estructuras colapsadas.
3. Implementar un algoritmo de navegación autónoma para el robot
4. Evaluar el rendimiento del prototipo en condiciones simuladas de emergencia.

## 1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.4.1 Alcances

Los alcances del proyecto son:

**a. Análisis de tecnologías:** El alcance del proyecto incluye un análisis exhaustivo de las tecnologías disponibles en el mercado de robots y sistemas de IA. Se evaluarán las características, ventajas y desventajas de los dispositivos existentes, así como su aplicabilidad en situaciones de emergencia. Este análisis permitirá identificar las mejores prácticas y tecnologías que se pueden integrar en el prototipo.

**b. Desarrollo de prototipo:** El desarrollo del prototipo se centrará en la creación de un robot autónomo capaz de realizar tareas de reconocimiento y recolección de datos en tiempo real. Esto incluirá la integración de sensores avanzados, algoritmos de IA y un sistema de navegación autónoma, lo que permitirá al robot operar en entornos peligrosos sin intervención humana.

### 1.4.2 Limitaciones

Luego del análisis del proyecto se plantean las siguientes limitaciones:

#### **a. Tecnología utilizada en la empresa**

Una de las limitaciones del proyecto es la tecnología disponible en la empresa que desarrolla el prototipo. La falta de recursos o de tecnología de punta puede restringir las capacidades del robot, lo que podría afectar su rendimiento en situaciones críticas.

#### **b. Limitación**

Otra limitación a considerar es la normativa y los protocolos existentes en Comisión Nacional de Emergencia en Costa Rica para el uso de robots en operaciones de rescate. La necesidad de cumplir con regulaciones específicas puede limitar la implementación y el uso del prototipo en

situaciones de emergencia, lo que requerirá un análisis cuidadoso y posiblemente la colaboración con entidades gubernamentales y de emergencia.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

El acelerado avance de la tecnología en las últimas décadas ha permitido el desarrollo de sistemas inteligentes con capacidad para operar de manera autónoma en diversos entornos. En este contexto, la robótica y la inteligencia artificial (IA) han convergido para crear soluciones innovadoras que pueden asumir tareas tradicionalmente realizadas por humanos, especialmente en situaciones de alto riesgo.

El diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente, basado en un robot con Inteligencia Artificial (IA), representa una de estas soluciones tecnológicas emergentes, con un enorme potencial en la exploración y monitoreo de lugares de difícil acceso, como son entornos de zonas afectadas por desastres naturales, estructuras colapsadas, espacios contaminados o áreas con condiciones extremas, estos entre otros, demandan tecnologías capaces de operar sin intervención humana directa, minimizando así los riesgos para el personal de rescate o exploración.

Este tipo de desafíos ha impulsado el desarrollo de robots autónomos equipados con sensores, sistemas de navegación inteligente y algoritmos de aprendizaje automático, capaces de tomar decisiones en tiempo real, detectar obstáculos, analizar su entorno y transmitir información útil para la toma de decisiones estratégicas, en este marco teórico se analizan los principales fundamentos conceptuales y tecnológicos que sustentan el proyecto de diseño e implementación de un robot autónomo de reconocimiento inteligente.

Se abordan aspectos como la robótica móvil, los sistemas de percepción mediante sensores, la visión artificial, los algoritmos de navegación autónoma, la inteligencia artificial aplicada a la robótica, así como el papel que juegan estos avances en la gestión de emergencias y exploración de espacios de acceso limitado, a su vez, este análisis proporciona la base

científica y técnica necesaria para comprender la relevancia del proyecto, así como su aplicabilidad en escenarios reales donde la intervención humana se ve limitada o comprometida.

## **2.1 CONTEXTO HISTÓRICO**

El desarrollo de robots autónomos con inteligencia artificial (IA) para operar en entornos hostiles o de difícil acceso ha sido impulsado por la necesidad de explorar y trabajar en condiciones peligrosas sin poner en riesgo vidas humanas. Desde los primeros autómatas hasta los sistemas actuales de reconocimiento inteligente, la evolución de la robótica ha estado marcada por avances en sensores, algoritmos de navegación y capacidades de procesamiento.

### **2.1.1 Orígenes de la Robótica Autónoma**

A lo largo de la historia, el hombre se ha sentido hechizado por máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y los movimientos de los seres vivos, los griegos tenían una palabra específica para denominar a estas máquinas: *autómatas*, de esta palabra deriva el actual autómatas o máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado.

Los mecanismos animados de Herón de Alejandría (siglo I d.C.), se movían a través de dispositivos hidráulicos, poleas y palancas y tenían fines eminentemente lúdicos, sin embargo, durante los siglos XVII y XVIII se crearon ingenios mecánicos que tenían alguna de las características de los robots actuales, estos dispositivos fueron creados en su mayoría por artesanos del gremio de la relojería con el fin de entretener a la gente de la corte,

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se desarrollaron algunas ingeniosas invenciones mecánicas, utilizadas fundamentalmente en la industria textil, a partir de ese momento cuando se empieza a utilizar dispositivos automáticos en la producción, dando paso a

la automatización industrial, el desarrollo moderno de la robótica comenzó en el siglo XX con la aparición de los primeros sistemas controlados electrónicamente.

En la década de 1950 y 1960, la robótica industrial comenzó a expandirse con el desarrollo de los primeros brazos robóticos, como el Robot Unimation o Unimate (1961), utilizado en la línea de ensamblaje de General Motors. Sin embargo, estos robots eran completamente dependientes de programación predefinida y carecían de autonomía real.

En los años 1970 y 1980, la robótica móvil empezó a desarrollarse con proyectos pioneros en el ámbito militar y científico, en esta etapa se destacaron avances como:

Shakey (1966-1972): El primer robot móvil con capacidad de razonamiento autónomo, desarrollado por el Stanford Research Institute (SRI). Este robot utilizaba cámaras y sensores para navegar de forma rudimentaria.

En la década de 1980, el Departamento de Defensa de EE.UU. (DARPA) inició programas de desarrollo de vehículos terrestres no tripulados para exploración y reconocimiento en zonas de combate.

Estos proyectos sentaron las bases para los sistemas modernos de navegación autónoma y toma de decisiones en entornos dinámicos. A partir de los años 1990 y 2000, los avances en inteligencia artificial, sensores y procesamiento computacional permitieron el desarrollo de robots más inteligentes y autónomos. Algunos hitos importantes incluyen: Sojourner (1997): El primer robot explorador en Marte, desarrollado por la NASA, con navegación semiautónoma.

PackBot (2001): Creado por IRobot, este robot fue utilizado en operaciones militares y rescates, como en la búsqueda de sobrevivientes tras los atentados del 11 de septiembre en Nueva York.

BigDog (2005): Un robot cuadrúpedo desarrollado por Boston Dynamics para transporte de carga en terrenos difíciles, fue otro de los robots creados en esta época. Durante este período, el uso de sensores avanzados como LIDAR, cámaras térmicas y sistemas GPS mejoró significativamente la capacidad de percepción y reconocimiento de los robots.

Desde la década de 2010 en adelante, la inteligencia artificial ha impulsado un nuevo nivel de autonomía en los robots de exploración y rescate, algunas de las innovaciones más relevantes incluyen: Spot (2015), Robot de Boston Dynamics con capacidades avanzadas de navegación en entornos complejos y terrenos irregulares que resultan difíciles o peligrosos para los seres humanos. Su diseño buscó ofrecer una solución robótica versátil para aplicaciones en diversos campos, incluyendo terrenos rocosos, escaleras, escombros, pasadizos estrechos y superficies irregulares, lo que lo hace ideal para misiones de reconocimiento donde el acceso humano es limitado o peligroso.

Igualmente se utiliza en industrias como el petróleo, gas, minería y construcción para inspeccionar zonas peligrosas, leer indicadores, detectar fugas o anomalías mediante sensores térmicos y cámaras de alta resolución. Ha sido probado en operaciones de rescate, búsqueda y evaluación de daños, como en derrumbes o incendios, gracias a su capacidad de moverse en ambientes hostiles y transmitir información en tiempo real, dotado con cámaras y sensores, Spot se ha empleado para patrullas de vigilancia autónoma en fábricas, almacenes y espacios públicos, especialmente durante la pandemia de COVID-19, además, Spot ha servido como una plataforma de prueba para inteligencia artificial, navegación autónoma, visión por computadora y comunicación hombre-máquina.

El robot ANYmal, desarrollado por el Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zúrich (ETH Zürich) y la empresa ANYbotics en 2017, es un robot cuadrúpedo autónomo diseñado

específicamente para llevar a cabo inspecciones en entornos industriales hostiles y de difícil acceso, donde la intervención humana puede resultar peligrosa o limitada.

ANYmal fue creado para automatizar tareas de inspección en plantas industriales, como plataformas petroleras, centrales eléctricas y refinerías, donde los entornos suelen ser peligrosos, oscuros o inaccesibles para los humanos, está equipado con cámaras RGB y térmicas, sensores LiDAR y micrófonos, permite detectar anomalías como fugas, sobrecalentamientos o sonidos inusuales en máquinas, enviando la información directamente al operador.

Gracias a sus piernas articuladas, puede subir escaleras, caminar sobre rejillas metálicas, sortear obstáculos y mantener el equilibrio en superficies irregulares, lo cual lo hace ideal para inspecciones estructurales sin modificar la infraestructura existente. Utiliza algoritmos avanzados de localización y mapeo simultáneo (SLAM) para moverse de forma autónoma, evitar obstáculos y seguir rutas predefinidas sin necesidad de intervención constante. (Toyo, 2023)

El Perseverante, lanzado por la NASA en 2020 y aterrizado en Marte el 18 de febrero de 2021, es un Rover autónomo de exploración planetaria desarrollado como parte de la misión Mars 2020. Este robot representa un hito en el uso de inteligencia artificial (IA) y tecnologías autónomas aplicadas a la exploración de entornos extremadamente hostiles e inaccesibles para los seres humanos.

Su objetivo principal es buscar signos de vida microbiana pasada, recolectar muestras geológicas y estudiar el clima y la geología marciana. Las muestras recolectadas están destinadas a ser traídas a la Tierra por misiones futuras. Equipado con sistemas de IA y visión

computacional, según (*Samuels , 2021*) Perseverante puede analizar su entorno, identificar obstáculos y planificar rutas seguras sin intervención directa desde la Tierra, lo cual es esencial debido al retardo de comunicaciones (hasta 22 minutos de ida y vuelta). Sirve como banco de pruebas para tecnologías que permitirán futuras misiones humanas a Marte, como el generador de oxígeno (MOXIE) y el helicóptero autónomo Ingenuity, el primero en volar en otro planeta.

El Perseverante es un claro ejemplo de cómo los sistemas robóticos autónomos con IA pueden operar en entornos extremos, recopilar información valiosa y realizar tareas complejas sin intervención humana constante, sirviendo como inspiración para aplicaciones terrestres en zonas de difícil acceso como cavernas, áreas contaminadas o zonas afectadas por desastres naturales. (*Vandi Verma, 2021*)

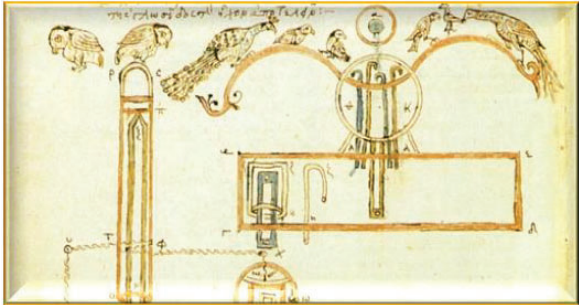
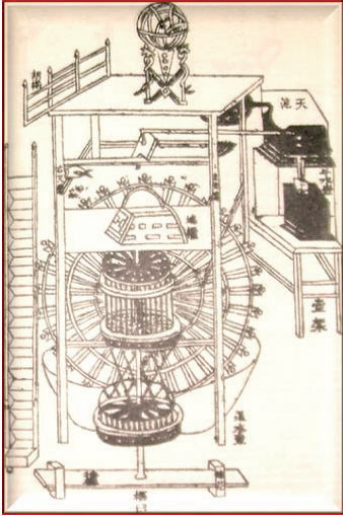
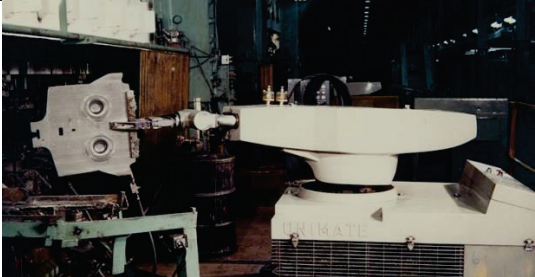
Por todo lo argumentado, se puede manifestar que estos avances han permitido que los robots sean utilizados en desastres naturales, zonas de guerra, espacios confinados y exploración de terrenos inaccesibles, como cuevas, fondos marinos, estructuras colapsadas y además en el espacio.

Actualmente, los esfuerzos en robótica autónoma con IA se centran en mejorar, la toma de decisiones en tiempo real mediante modelos de aprendizaje profundo, así mismo, la miniaturización de sensores para mejorar la eficiencia energética y movilidad, igualmente la interoperabilidad con sistemas humanos para facilitar la colaboración con rescatistas y operadores.

Es por ello que se espera que, en los próximos años, los robots autónomos sean cada vez más comunes en la gestión de emergencias, la exploración espacial y la operación en entornos de riesgo sin intervención humana directa.

Figura 4:

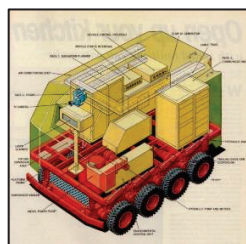
*Orígenes de la Robótica Autónoma*

<p><b>1. Los autómatas de Herón de Alejandría (siglo I d.C.) (Ortiz, 2024)</b></p>	 A historical diagram showing Heron's automata. It features a complex arrangement of gears, levers, and a vertical column. At the top, several bird-like figures are shown in flight, connected to a central mechanism. The diagram is labeled with letters A through Z.
<p><b>2. El Motor Cósmico, una torre de reloj de 10 metros de altura construida por Su Song en Kaifeng, en 1088. (Ortiz, 2024)</b></p>	 A detailed technical drawing of Su Song's Cosmic Engine. It depicts a tall, multi-tiered structure with a central vertical axis and various gears and mechanisms. The drawing includes Chinese characters and labels, showing the intricate design of this ancient astronomical clock tower.
<p><b>3. Robot Unimation (Mora, 2022)</b></p>	 A photograph of the Unimation robot, a large, white, cylindrical industrial robot. It is positioned in a workshop or factory setting, with various mechanical parts and tools visible in the background. The robot has a prominent horizontal arm and a vertical column.

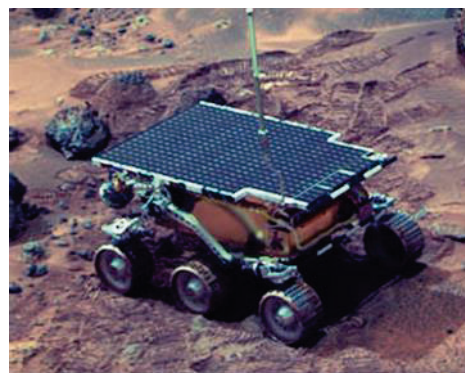
**4. Robot Shakey (Computer History Museum, 2025)**



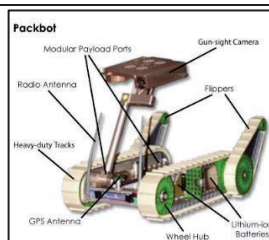
**5. Vehículos autónomos DARPA (Matt Novak, 2025)**

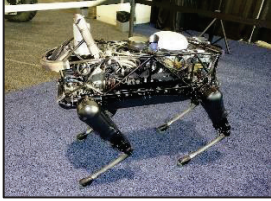
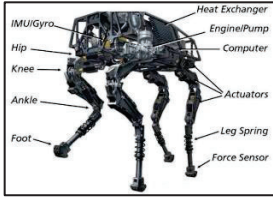


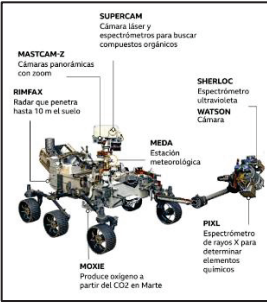
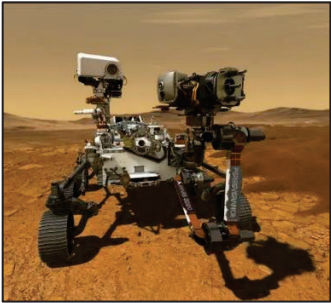


**6. Rover Sojourner de la NASA (NASA, 2022)**



**7. Packbot (Herrera, 2025)**



<p><b>8. BigDog, el cuadrúpedo mecánico</b> (Alvarez, 2017)</p>	  <p>Diagram labels: IMU/Gyro, Heat Exchanger, Engine/Pump, Computer, Actuators, Leg Spring, Force Sensor, Hip, Knee, Ankle, Foot.</p>
<p><b>9. Spot (Umaña, 2019)</b></p>	
<p><b>10. ANYmal (Álvarez, 2017)</b></p>	
<p><b>11. Instrumentos del robot explorador Perseverance, (Vandi Verma, 2021)</b></p>	  <p>Diagram labels: SUPERCAM (Cámara LiDAR y espectrómetros para buscar compuestos orgánicos), MASTCAM-Z (Cámaras panorámicas con zoom), RIMFAX (Radar que penetra hasta 10 m el suelo), SHERLOC (Espectrómetro ultravioleta), WATSON (Cámara), MEDA (Estación meteorológica), PIXL (Espectrómetro de rayos X para determinar elementos químicos), MOXIE (Produce oxígeno a partir del CO<sub>2</sub> en Marte).</p>

**Fuentes:** Elaboración propia con base en diferentes autores (Alvarez, 2017); (Herrera, 2025); (NASA, 2022); (Matt Novak, 2025); (Computer History Museum, 2025); (Mora, 2022); (Ortiz , 2024 ); (Umaña, 2019); (Vandi Verma, 2021);

## 2.2 TEORÍAS REFERENTES AL DISEÑO A ELABORAR O

### CONTEXTO TEÓRICO

#### 2.2.1 Antecedentes

(Ramírez & Reyes, 2015) , diseñaron un Robot Autónomo móvil usando tecnología FPGA, un proyecto que reunió el conocimiento de varias materias como, Electrónica, Electiva, Sensores, Microcontroladores, entre otras, por medio de esta propuesta los autores a partir de las nuevas tecnologías existentes utilizaron también una tarjeta FPGA sb-RIO 9631 de National Instruments reconfigurable, con un procesador de 128 MHz, 64 MB DRAM, 256 de almacenamiento no volátil, puerto serie RS232 para dispositivos periféricos y 110 E/S digitales de 3.3 v (compatibles con tecnología TTL), con respecto a la alimentación del robot se utilizará una fuente de voltaje de +12-30VDC, un circuito amplificador de voltaje de +3.3VDC a +12VDC y tarjetas de comunicación inalámbrica XBEE con alcance de 100m en espacios abiertos y 30m en interiores, así como una cámara IP para visualizar el entorno del robot y la identificación de objetos de varios colores además del uso de sensores de ultrasonidos.(pp. 3-4)

El enfoque de este proyecto, estuvo orientado a prácticas para los estudiantes las cuales tuvieron como objetivo ir paso a paso otorgando funcionalidades al robot desde las más simples hasta las más complejas como los son desde el proceso del movimiento de una rueda hasta la comunicación inalámbrica que debe existir entre un mando remoto manejado por el usuario y la máquina. Se desarrollaron varias prácticas con el robot donde se expusieron en cada una de ellas una configuración distinta para el mismo y así demostrar las funcionalidades y ventajas de las tecnologías FPGA sobre otros dispositivos. (p.6)

Este Robot Móvil y la Robótica en general tienen un gran impacto a nivel social, ya que con las mejoras de los sistemas robóticos aceleran la producción en la industria, mejora la

calidad de vida y nos ayuda a tener una mejor comprensión del mundo en el que vivimos, pues como se sabe los robots móviles son utilizados incluso en la exploración espacial. (p. 7)

(García, 2021), desarrollo una arquitectura para el uso de un enjambre de robots heterogéneo y semi-supervisado en un entorno de Búsqueda y Rescate Urbano. Más concretamente, la arquitectura permite la combinación de diversos algoritmos orientados a este ámbito para la obtención de un sistema complejo y a su vez independiente tanto del hardware como de los métodos usados. Además, se propone una nueva estrategia de exploración colaborativa basada en el comportamiento social de las hormigas.

El algoritmo planteado hace uso de feromonas repelentes como mecanismo para fomentar la exploración en entornos desconocidos, analizando la arquitectura planteada, tras la implementación de un sistema de búsqueda y rescate completo, que ha sido probado en un entorno real, además, el algoritmo propuesto proporcione soluciones adecuadas para su uso en respuesta a una catástrofe, sin embargo, también puede permitir el uso de algoritmos que surjan en el futuro.

En este trabajo la principal novedad que se ha introducido es el desarrollo de una arquitectura que permita integrar todos los sistemas. Esto permite manejar un sistema complejo, como es el de un robot de estas características, de una forma cómoda para el operador, ya que puede emplear la estrategia que necesite en cualquier momento.

(Pazmiño, 2023), El estudio, construcción y diseño de un robot hexápodo todo terreno con geolocalización “R-Hex” estuvo basado en la necesidad de implementar una herramienta para que el personal militar realizar tareas tales como búsqueda, reconocimiento y mapeo de terrenos o vigilancia de zonas poco transitables, razón por la cual con este trabajo se procede a

presentar el proceso de diseño y construcción de un robot hexápodo todo terreno con geolocalización, semiautónomo tipo “R-Hex”, procurando de esta manera garantizar la protección de la integridad física del operario encargado de estas tareas.

El autor expone que el robot va a ser controlado de manera remota, donde el operador recibirá los datos en tiempo real, mismos que serán analizados e interpretados por el operador y el software implementado permitiendo un control más amigable y fluido.

Además, debido al tipo de ambientes en los que se desea que el robot se movilice, busco un diseño mecánico que permitiera realizar una navegación continua y fluida, para lo cual se requirió que el prototipo fuera capaz de evitar o traspasar los obstáculos presentes en su zona de exploración.

Es importante señalar que este prototipo robótico R-Hex dispone de un sensor GPS mismo que permite conocer la longitud y latitud del robot; un sensor ultrasónico mismo que permite medir la distancia que hay entre un obstáculo y el robot R-Hex, posee un sensor de luz que le permite activar de manera automática la luz del prototipo en caso de haber poca iluminación.

En la Tabla 1, a continuación, se puede observar una comparación de las tecnologías utilizadas por los autores y la cantidad de sensores que implementaron en cada uno de los proyectos

Tabla 1:

*Comparación de tecnologías en proyectos*

Autor/s	Tecnología usada	Sensores usados
(Ramírez & Reyes, 2015)	Tecnología FPGA	Ocho sensores
(García, 2021)	Algoritmo de exploración con anti-feromonas APH	Un sensor láser de medición en 360°
(Pazmiño, 2023)	R-Hex	Geolocalización, control inalámbrico, 1 sensor GPS, 1 sensor ultrasónico, 1 sensor de luz

*Fuente:* Elaboración propia (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

## 2.3 CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS TEÓRIAS

Los avances en robótica móvil y autónoma han permitido el desarrollo de prototipos cada vez más complejos y funcionales, orientados tanto a fines académicos como a aplicaciones en entornos reales y hostiles. En este sentido, diversos autores han contribuido con propuestas que sirven como base teórica y práctica para contextualizar el diseño de sistemas robóticos inteligentes aplicables a escenarios de exploración y reconocimiento.

Por ejemplo, Ramírez y Reyes (2015) desarrollaron un robot móvil autónomo utilizando tecnología FPGA, integrando conocimientos de electrónica, sensores y microcontroladores, con el objetivo de realizar prácticas escalonadas que aumentarían progresivamente la funcionalidad del sistema. Esta propuesta evidencia el potencial del uso de tecnologías reconfigurables como las tarjetas FPGA para la enseñanza aplicada y la creación de prototipos versátiles, orientados al aprendizaje técnico y práctico de los estudiantes. El impacto de este tipo de robótica, además,

se extiende al ámbito industrial y científico, dada su capacidad para mejorar procesos, automatizar tareas y apoyar incluso la exploración espacial.

Por otro lado, García (2021) propone una arquitectura para robots heterogéneos en entornos de búsqueda y rescate urbano, destacando el uso de algoritmos inspirados en el comportamiento social de las hormigas. Esta propuesta permite la combinación flexible de métodos, independiente del hardware, y representa un avance significativo en la integración de sistemas colaborativos semiautónomos, enfocados a misiones críticas. Su enfoque resulta relevante para el desarrollo de robots autónomos orientados a la gestión de emergencias y desastres, lo cual refuerza el valor social y funcional de este tipo de tecnologías.

Finalmente, Pazmiño (2023) presenta el diseño de un robot hexápodo todo terreno con geolocalización, destinado a tareas militares como reconocimiento y vigilancia en zonas de difícil acceso. La incorporación de sensores como GPS, ultrasónicos y de luz, junto con un diseño mecánico adaptado al terreno, posiciona al prototipo “R-Hex” como una herramienta de apoyo que busca proteger la integridad del operario humano. Este enfoque se alinea con la necesidad de implementar soluciones semiautónomas en entornos riesgosos, donde la autonomía, navegación y adaptabilidad del robot son elementos clave.

En conjunto, estas investigaciones ofrecen un marco contextual valioso para el desarrollo de un prototipo robótico inteligente, ya que aportan distintas perspectivas sobre tecnologías, estructuras, sensores y estrategias de control aplicables a robots autónomos en entornos complejos y de difícil acceso. Por lo argumentado hasta el momento, y habiendo revisado las teorías reseñadas, se exponen a continuación algunos conceptos pertinentes para este proyecto.

### 2.3.1 Robótica Autónoma

Según ( Porcelli, 2021) “La robótica es un componente de la inteligencia artificial, y como ciencia, es la que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar las tareas del ser humano mediante procesos mecanizados y programados” (p.67)

Así mismo se puede exponer que la robótica autónoma se refiere al diseño de sistemas capaces de ejecutar tareas sin intervención humana constante, estos robots pueden percibir su entorno, tomar decisiones y actuar en función de algoritmos programados y datos en tiempo real, donde la autonomía es esencial, especialmente cuando operan en lugares de difícil acceso, donde el control remoto puede ser limitado o inviable. (Pazmiño, 2023, p.84)

Según la (Real Academia Española , 2025) un robot es: “Máquina programable capaz de realizar trabajos antes reservados solo a las personas” (párr. 1)

( Lemus , 2019) según este autor menciona que: “La Asociación Japonesa de Robótica Industrial (JIRA) define robot como un dispositivo capaz de moverse de modo flexible, análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, permitiendo operaciones en respuesta a las órdenes humanas.” (párr.4)

Con base en estos conceptos se puede expresar que estas máquinas que a lo largo de los años han ido evolucionando para facilitar ciertas tareas como las de rescate, que no solo son capaces de llegar adonde la mano del hombre no llega, sino que sirven para proteger la vida humana tanto de las personas afectadas como de los rescatistas. Así mismo este tipo de máquinas son autónomas, y esto es debido a que por medio de la aplicación de diferentes tecnologías pueden controlar y monitorear un proceso, este tipo de máquinas, aparatos o

dispositivo que por lo regular cumple tareas repetitivas, operan automáticamente, reduciendo al mínimo tanto los tiempos como la intervención humana y los errores.

Es por ello que, según (Hernández, 2019) manifiesta que automatizar y/o robotizar es: “La transformación de la mano de obra humana hacia una máquina, la cual realiza actos complejos de forma automática y repetitiva, aportando en general un mayor grado de productividad y precisión” (p.19)

Teniendo clara la definición, es posible afirmar que la automatización ya forma parte de la vida cotidiana y está presente en una gran variedad de actividades periódicas, en donde, en muchos casos, se ha vuelto esencial, al punto de que actualmente la sociedad no cuenta con una alternativa que ofrezca resultados comparables.

### **2.3.2 Reconocimiento Inteligente e Inteligencia artificial**

El reconocimiento inteligente es la habilidad de una máquina para interpretar y analizar su entorno, identificando objetos, obstáculos, superficies o condiciones del terreno mediante sensores y procesamiento de datos, este reconocimiento es vital para que el robot pueda navegar, adaptarse y cumplir misiones de exploración, rescate o vigilancia.

Teniendo como base lo dicho anteriormente, es conveniente hacer alusión a los conceptos de inteligencia brindado por diferentes autores desde el punto de vista de la psicología humana, esto se puede ver reflejado en la Tabla 2 a continuación.

**Tabla 2:**

*Conceptos de inteligencia brindado por diferentes autores desde el punto de vista de la psicología*

<b>Lewis Terman (1921)</b>	Capacidad para pensar de manera abstracta.
<b>David Wechsler (1944)</b>	Capacidad para actuar con un propósito concreto, pensar racionalmente y relacionarse eficazmente con el ambiente.
<b>Jean Piaget (1952)</b>	Capacidad para adaptarse al ambiente.
<b>Sternberg y Salter (1982)</b>	Capacidad de adaptar el comportamiento a la consecución de un objetivo. Incluye las capacidades para beneficiarse de la experiencia, resolver problemas y razonar de modo efectivo.
<b>Papalia y Wendkos-Olds, (1996)</b>	Interacción activa entre las capacidades heredadas y las experiencias ambientales, cuyo resultado capacita al individuo para adquirir, recordar y utilizar conocimientos, entender conceptos concretos y abstractos, comprender las relaciones entre los objetos, los hechos y las ideas y aplicar y utilizar todo ello con el propósito concreto de resolver los problemas de la vida cotidiana.

**Fuente:** *(Universidad de Alicante, España, 2025)*

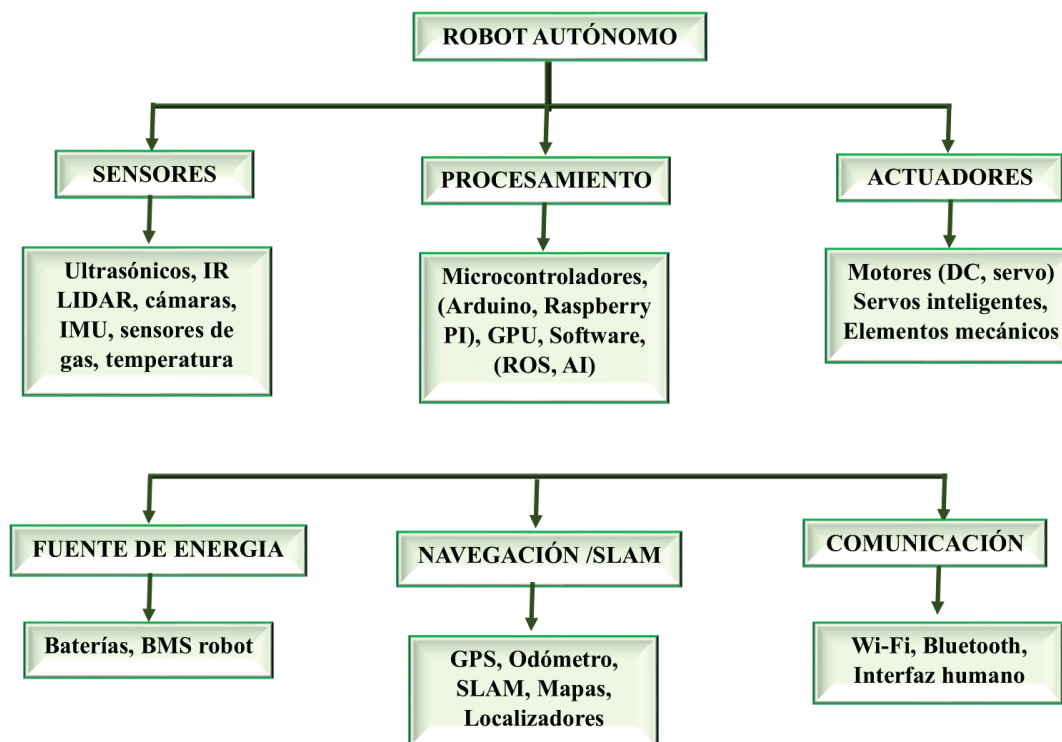
Así mismo, en materia de robótica actual, lo que se está implementando para el reconocimiento inteligente es la inteligencia artificial (AI), esta según ( Porcelli, 2021)

La IA se ocupa del estudio de los fundamentos del desempeño inteligente del ser humano, la manera como los humanos utilizan el lenguaje, el desarrollo de los procesos de inferencia, la comprensión de los fenómenos, los procesos de aprendizaje, las formas de percepción, la manera como los humanos adquieren, aplican, transfieren conocimientos sobre el mundo; los procesos de planeación, ejecución y evaluación de planes de acción; las formas de comportamiento del hombre con los demás y ante la máquina (p.56)

Es por ello que, por medio de la robótica, se pueden resolver problemas en situaciones extremas como son los desastres provocados por fenómenos atmosféricos, ya que esta tecnología acompañada de la inteligencia artificial ofrece grandes beneficios resguardando la vida del ser humano, además, este tipo de progresos tecnológicos, se hallan en permanente perfeccionamiento, acrecentando día a día sus prestaciones y constantemente los campos de aplicación.

De igual manera es importante señalar los componentes principales de este tipo de robot autónomos, como, por ejemplo: sistema de sensores, unidad de procesamiento o computadora de a bordo, sistema de actuadores, fuente de energía, sistema de navegación y localización, sistema de comunicación, lo mencionado se desarrollará a continuación y puede observarse en la Figura 5.

Figura 5:

*Esquema visual: Componentes principales de un robot autónomo*

*Fuente:* Elaboración propia (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

### 2.3.3 Sistema de sensores

Permiten al robot percibir el entorno y recopilar datos esenciales para su funcionamiento, para detectar nuevos parámetros ambientales o mejorar la precisión de la medición de los parámetros actuales. Para lograr esto, se han inventado nuevos métodos de diseño fabricación y calibración para mejorar la sensibilidad de detección. Además de las innovaciones de sensores, se han realizado avances en la integración, difusión, y métodos de procesamiento de las señales detectadas para mejorar la relación señal/ruido (SNR) y obtener

información útil de las señales brutas. Con base en estas nuevas tecnologías, en los últimos años se han reportado nuevos sensores de fuerza, visión, táctiles y auditivos. (Abril & Pacheco, 2012)

### ***2.3.3.1 Sensores ultrasónicos/infrarrojos***

Según (Jeff Smoot, 2021) expone que:

El término ultrasónico se refiere a las frecuencias de audio que están más allá del rango de la audición humana (20 kHz). Los sensores ultrasónicos son dispositivos que utilizan estas frecuencias para la detección de presencia y/o para calcular la distancia a un objeto remoto. (párr. 3)

Los sensores ultrasónicos son populares por su bajo costo, versatilidad y amplia gama de aplicaciones, gracias a su adaptabilidad, se utilizan en tecnologías modernas como vehículos autónomos, drones industriales y robots. (Jeff Smoot, 2021) agrega que este tipo de sensores funcionan de la siguiente forma:

Un sensor ultrasónico es análogo a la forma en que los murciélagos utilizan la ecolocalización para encontrar insectos mientras vuelan. Un transmisor emite una breve ráfaga de ondas sonoras de alta frecuencia llamada "chirp" que contiene frecuencias entre 23 kHz y 40 kHz. Cuando este pulso de sonido choca con un objeto, algunas de las ondas sonoras se reflejan en el receptor. Midiendo el tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción de la señal ultrasónica por parte del sensor, se puede calcular la distancia al objeto mediante la siguiente ecuación:

$$d = 0.5 * t * c$$

donde:

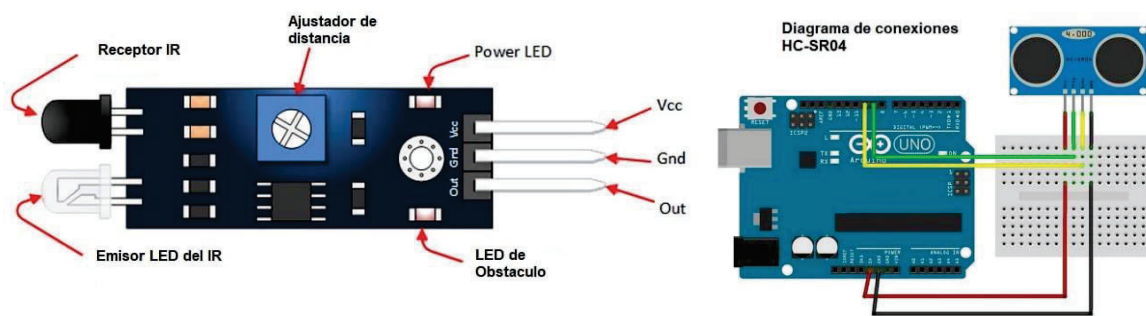
$d$  = distancia (metros)

$t$  = tiempo entre la transmisión y la recepción (segundos)

$c$  = velocidad del sonido (343 metros por segundo) (párr. 4-7)

**Figura 6:**

### *Sensores (IR) y Sensor ultrasónico HC-SR04*



**Fuente:** Jeff Smoot, (2021)

#### **2.3.3.2 LIDAR (Detección y alcance de luz)**

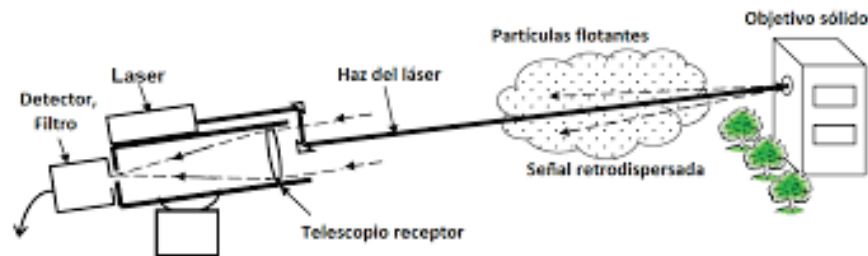
El sensor LiDAR (Light Detection and Ranging o Detección y Alcance de Luz) es clave en entornos donde se necesita una percepción del espacio muy precisa y en tiempo real, es una tecnología que utiliza pulsos láser para medir distancias con alta precisión.

Funciona emitiendo rayos láser que rebotan en los objetos y regresan al sensor; el tiempo que tarda en volver permite calcular la distancia, este tipo de sensor es muy útil en aplicaciones donde se requiere un mapeo tridimensional detallado y una detección precisa del entorno, como: Vehículos autónomos, para detectar obstáculos y navegar de forma segura. Drones, para realizar mapas topográficos o monitorear terrenos. Robótica, donde se emplea

para la navegación y la creación de mapas en tiempo real, localización y Mapeo Simultáneos (SLAM). (Fernández G. , 2016)

**Figura 7:**

*Esquema general del sistema LIDAR*



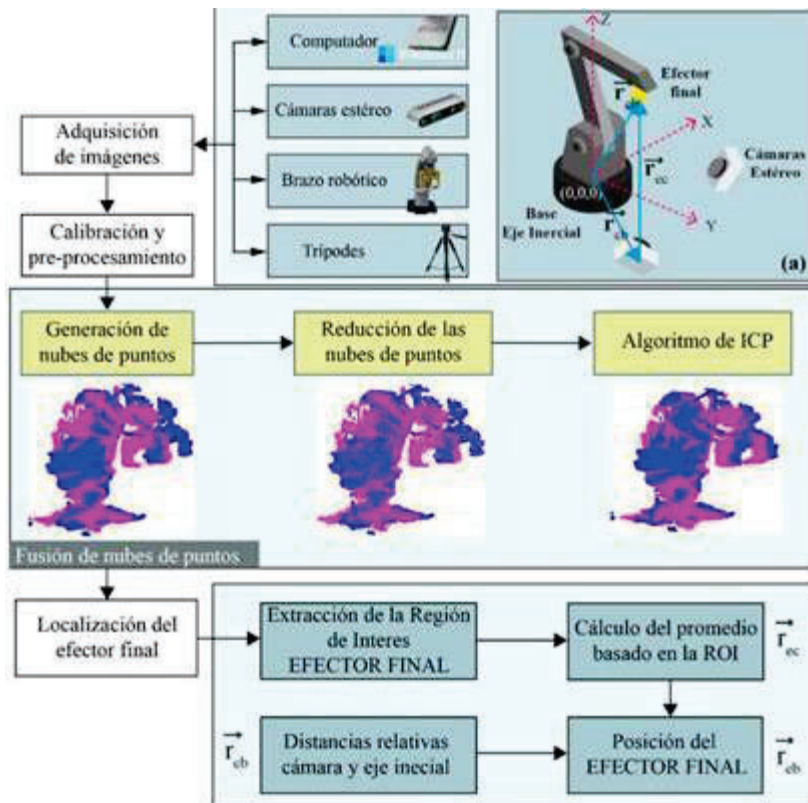
*Fuente:* Imagen modificada por Fukuchi, (2012) en Fernández G., (2016, p. 2)

### 2.3.3.3 Cámaras (RGB, estéreo, térmicas)

Se trata de una cámara de alta resolución, según (Cisternas, del Río, Prado , & Menéndez , 2023) exponen que:

El sistema de visión consiste en dos cámaras estéreo Intel RealSense D435, las cuales adquieren dos imágenes RGB con una resolución de  $1920 \times 1080$  píxeles. Las dimensiones del dispositivo son  $90 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ . Mediante visión estéreo se crea una nube de puntos asociada a cada escena analizada utilizando MATLAB 2021b. Las nubes de puntos adquiridos son fusionadas con el algoritmo de ICP. (p.4)

Figura 8:

*Cámaras (RGB, estéreo, térmicas)*

*Fuente:* (Cisternas, del Río, Prado , & Menéndez , 2023)

#### 2.3.3.4 IMU (Unidad de Medición Inercial)

Una Unidad de Medidas Inerciales (IMU o UMI en español) es en general un sistema cerrado que es usado para detectar la orientación, localización y movimiento.

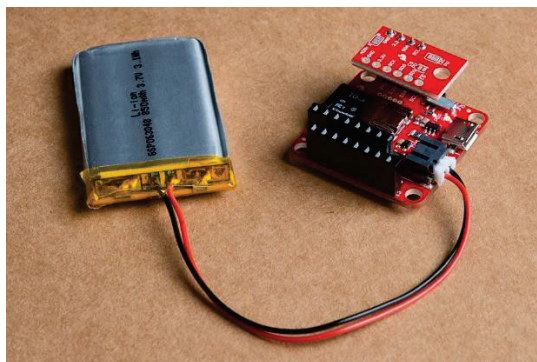
(Rivas , 2006) expresa que:

Una IMU detecta la aceleración y los cambios de orientación instantáneamente (i.e. ángulos de roll, pitch y yaw), además los integra para averiguar el cambio total sobre la posición inicial. Esto contrasta con el sistema GPS, el cual utiliza satélites para detectar la posición. (p.16)

Debido a la diversidad de contextos en los que se requiere una IMU y a las particularidades de cada uno, no existe una definición única y precisa del concepto, generalmente, se considera parte de un sistema de navegación inercial, aunque su función dentro de este puede diferir considerablemente, de hecho, un conjunto de sensores que midan aceleración y velocidad angular ya puede considerarse una Unidad de Medidas Inerciales (IMU).

**Figura 9:**

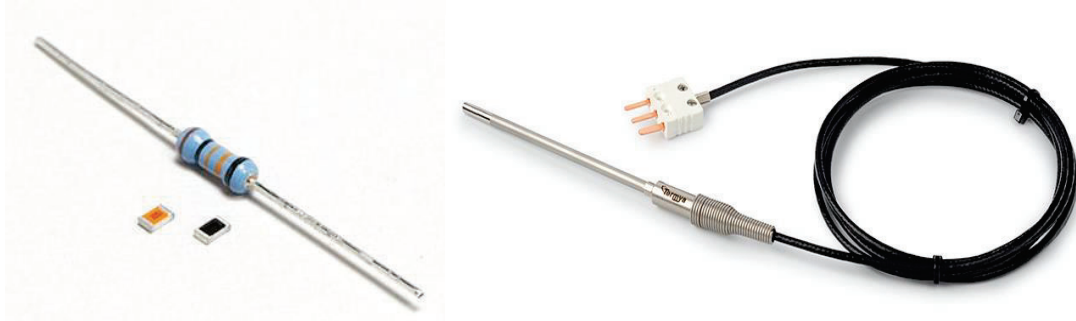
*Unidad de Medidas Inerciales (IMU)*



**Fuente:** (Rivas, 2006)

### ***2.3.3.5 Sensores de temperatura***

Estos sensores ayudan al robot a adaptarse y controlar su funcionamiento, evitando fallos al pasar de valores críticos. El funcionamiento es simple: pequeños sensores IC producen diferentes tensiones para ajustarse a los cambios de temperatura. Hoy en día, existen diversos modelos en el mercado. Existen diferentes tipos de sensores de temperatura como son termistores, piro sensores o termorresistencias. En función del uso que se vaya a dar, se usarán de un tipo u otro. (Rob Goldiez , 2023) (párr.14-15)

**Figura 10:*****Termistores y piro sensores o termorresistencias***

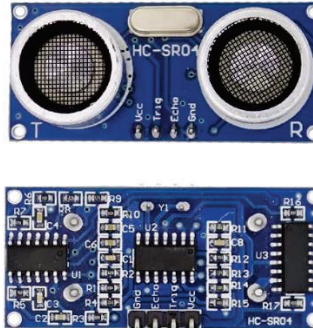
***Fuente:*** (Rob Goldiez , 2023)

**2.3.3.6 Sensores de humedad**

Dispositivos que tienen la capacidad de detectar y medir la cantidad de vapor de agua presente en el aire o en el entorno circundante. Su función principal es detectar la presencia de vapor de agua en el aire o en un determinado material, proporcionando información valiosa sobre las condiciones ambientales. Los sensores de humedad ultrasónicos, por otro lado, funcionan emitiendo ondas ultrasónicas que se propagan a través del aire y se reflejan en función de la humedad presente.

Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción, por ejemplo, un sensor óptico tiene un transmisor y receptor, mientras que un sensor ultrasónico utiliza un elemento ultrasónico único, tanto para la emisión como la recepción. (Rob Goldiez , 2023)(párr.17-18)

Figura 11:

*Sensores de humedad*

**Fuente:** (Rob Goldiez , 2023)

Estos elementos son fundamentales para que el dispositivo funcione correctamente, y es que un robot sin sensores es de muy poca utilidad, a no ser que este tenga una función muy específica que no los requiera, sin embargo, percibir el entorno que los rodea permitirá que los robots puedan nutrirse de información clave para ofrecer una respuesta adecuada en tiempo real.

### 2.3.4 Unidad de Procesamiento o Computadora de a Bordo

Es el "cerebro" del robot, donde se ejecutan los algoritmos de inteligencia artificial y control encargados de procesar datos, tomar decisiones y controlar los actuadores. Se refiere al sistema de control que ejecuta el software que permite al robot interactuar con el entorno y realizar tareas.

La CPU es a menudo un chip fundamental en un robot, el cual, es el responsable de ejecutar instrucciones y procesar datos, lo que permite que el robot realice diversas tareas, es por ello que cuando se habla de la computación a bordo se refiere al procesamiento, análisis y almacenamiento de datos más cerca de dónde se generan a fin de permitir el análisis y la respuesta rápidos en tiempo real.

**Figura 12:*****Unidad de Procesamiento***

***Fuente:*** (Rob Goldiez , 2023)

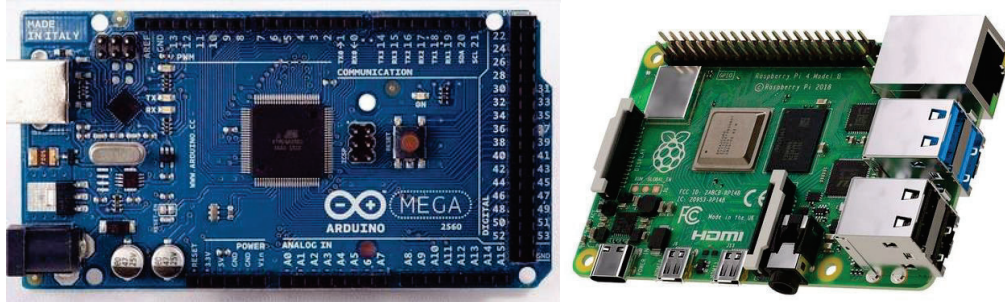
#### **2.3.4.1 Microcontroladores como Arduino o microprocesadores, como Raspberry Pi, NVIDIA Jetson).**

(Josh Schneider & Ian Smalley, 2024) manifiestan que: “Una unidad de microcontrolador es esencialmente una computadora pequeña en un solo chip. Está diseñado para administrar tareas específicas dentro de un sistema integrado sin requerir un sistema operativo complejo.” (párr. 1)

Por otro lado, (Nathan George, 2019), expone que:

Arduino fue uno de los primeros microprocesadores simplificados para aficionados, pero sigue siendo una de las maneras más económicas y sencillas de empezar. Aunque no ejecuta un sistema operativo como Linux, puedes crear fácilmente código Arduino para hacer parpadear luces LED, aprender circuitos e incluso alimentar motores para un chasis robótico. (párr. 5)

Figura 13:

*Microcontrolador Arduino y Microprocesador Raspberry Pi*

*Fuente: (Nathan George, 2019)*

#### 2.3.4.2 GPU o aceleradores de IA

Actualmente, según (Bugarin, 2024), los modelos de inteligencia artificial (IA) pueden llevar a cabo tareas complejas que anteriormente dependían exclusivamente de la intervención humana. Actividades como la clasificación de imágenes y el procesamiento del lenguaje natural son ejemplos donde estos modelos juegan un papel central en múltiples avances tecnológicos. No obstante, un factor fundamental en su rendimiento y desarrollo ha sido la utilización de las GPU (Unidades de Procesamiento Gráfico).

Las GPU fueron creadas inicialmente con el propósito de optimizar el renderizado gráfico en videojuegos y programas de diseño. Sin embargo, sus capacidades técnicas las han transformado en un recurso esencial para la inteligencia artificial, en particular para el entrenamiento y la ejecución de redes neuronales. (párr.1-2)

### **2.3.5 Sistema de Actuadores**

Son la parte de un robot que convierte las señales de control, como señales eléctricas o presión, en movimiento mecánico, estos actuadores son esenciales para que un robot pueda realizar acciones como moverse, manipular objetos o cambiar de estado.

Según (Bugarin, 2024) “Los actuadores son los músculos de un robot, son dispositivos que convierten la energía eléctrica (o neumática o hidráulica) en movimiento mecánico, permiten al robot ejecutar acciones físicas en respuesta a las señales procesadas por el sistema de control.” (párr. 3-4)

La robótica contemporánea depende de una interacción precisa y eficaz entre sensores y actuadores, los cuales colaboran para que los robots puedan percibir su entorno y actuar sobre él de forma autónoma y controlada. Entender cómo funcionan estos componentes es esencial para el diseño, la programación y el mantenimiento de los sistemas robóticos. (Universidad ORT Uruguay, 2025)

Al igual que con los sensores, la selección del actuador depende de las necesidades específicas de la aplicación, factores como la fuerza, la velocidad, la precisión, el tamaño y el costo.

### **2.3.6 Fuente de energía**

Las fuentes de energía en robótica pueden variar según su diseño, función y entorno de operación, existen varios tipos como por ejemplo las baterías de polímero de litio, también llamadas baterías LiPo, son un tipo de batería recargable que se utiliza a menudo en dispositivos móviles, como teléfonos móviles y ordenadores portátiles. También se utilizan en

aplicaciones de almacenamiento de energía, vehículos eléctricos y por supuesto en electrónica y robótica (Gonzalez, 2024)(párr. 1)

**Figura 14:**

*Diferentes modelos de baterías LiPo*



*Fuente:* (Gonzalez, 2024)

### 2.3.6.1 Sistemas de gestión de energía (BMS)

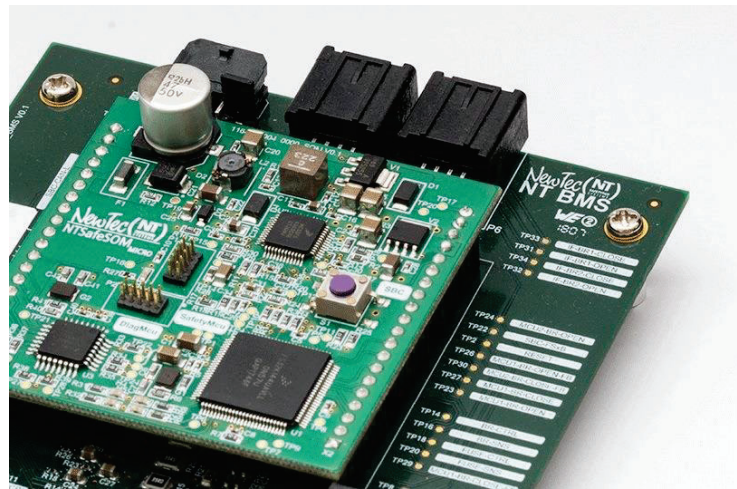
Un Sistema de Gestión de Energía o BMS (Battery Management System) es un componente inteligente encargado del control y gestión avanzada del sistema de almacenamiento, clave en los robots que funcionan con baterías, especialmente en aquellos que requieren autonomía, seguridad y eficiencia energética.

En robótica, los Sistemas de Gestión de Baterías, BMS son cruciales para optimizar la vida útil, la eficiencia y la seguridad de las baterías que alimentan los robots. La principal función del sistema de gestión de la batería BMS es controlar la carga y descarga de la batería. Pero también realiza otras funciones como:

- La estimación del estado de la batería;
- Monitoreo; y el análisis del estado de la batería;
- Protección de seguridad;
- Gestión del control de energía;
- Gestión de la información de la batería. (Cambio Energetico, 2025)

**Figura 15:**

*Sistema de gestión de batería de Victron*



**Fuente:** (Cambio Energetico, 2025)

### 2.3.7 Sistema de Navegación y Localización

(Siegwart, R, Nourbakhsh, IR, & Scaramuzza, D, 2011) exponen que:

La navegación y localización son procesos fundamentales en los robots móviles, ya que les permiten conocer su posición dentro de un entorno y planificar rutas hacia un destino. Estos sistemas integran sensores, mapas y algoritmos de estimación para lograr desplazamientos precisos y seguros. (p.181)

Un sistema de navegación y localización en robótica permite a los robots moverse de forma autónoma dentro de su entorno, utilizando sensores y algoritmos para determinar su posición y planificar rutas. Este sistema es fundamental para robots móviles, ya que les permite evadir obstáculos, alcanzar objetivos y navegar por entornos complejos.

Según (Velásquez , Chávez , & Córdoba , 2015), la incorporación de un sistema de navegación autónoma en un robot móvil experimental con tracción diferencial permite dotar al agente de la capacidad de explorar y reconstruir su entorno por sí mismo, sin requerir condiciones iniciales predefinidas para operar de manera independiente. Para lograrlo, es fundamental abordar el desafío del mapeo y la localización simultánea (SLAM), así como resolver el problema de navegación, que incluye la generación automática de trayectorias y la evasión de obstáculos tanto estáticos como en movimiento.

Este sistema de navegación ha sido implementado específicamente en un robot con tracción diferencial debido a la mayor complejidad que representa su control de movimiento en comparación con un robot omnidireccional, apoyándose en técnicas SLAM y de navegación ya existentes, los principales aportes al área de la navegación autónoma de robots móviles se centran en el control de movimiento, la generación de trayectorias suaves y la evasión eficiente de obstáculos, lográndose una implementación exitosa en un robot experimental.(p.72)

Así mismo, el algoritmo de navegación debe generar los comandos de movimientos idóneos para que el robot pueda navegar segura y eficazmente en el entorno donde se encuentra. De esta manera se conforma y desarrolla el sistema de navegación programado (p.77)

### 2.3.8 Sistema de Comunicación

En robótica, Wi-Fi, Bluetooth y Radiofrecuencia (RF) son tecnologías inalámbricas que permiten la comunicación entre los robots y el operador o con otros robots. Wi-Fi proporciona comunicación de mayor alcance, Bluetooth es más eficiente para comunicaciones de corto alcance y baja potencia, y RF es el término general para la transmisión de señales electromagnéticas que incluyen Wi-Fi y Bluetooth

Según M. Stoehr (2012), citado por (Robles & Vaca , 2017) exponen que:

Las señales de radio frecuencia son una forma de onda electromagnética como la luz visible, que constituyen una parte del espectro, este abarca todas las formas de luz que van desde frecuencias de audio como la omnipresente de 60 HZ, a través de las bandas de radio que incluyen AM, FM, canales de televisión y otras bandas de radiofrecuencia. (p.31)

De igual manera, los robots controlados por wifi se utilizan comúnmente para diversas aplicaciones, como vigilancia, exploración, educación y entretenimiento, sin embargo, un robot controlado por wifi es un sistema robótico que puede operarse remotamente mediante una conexión de red inalámbrica, generalmente mediante tecnología wifi. Este tipo de robot permite a los usuarios controlar sus movimientos, acciones y, en ocasiones, incluso recopilar datos a través de una interfaz en un teléfono inteligente, tableta o computadora. (techcryptors.com, 2025)

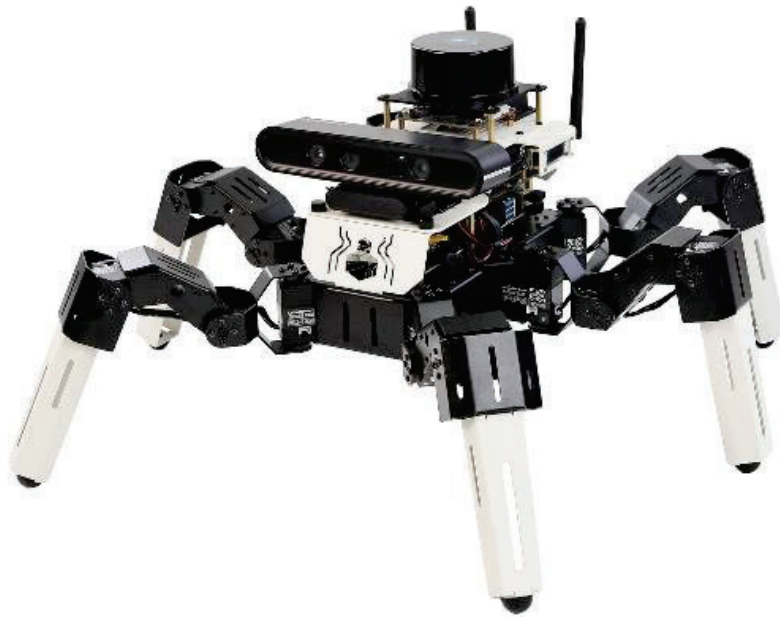
Para cerrar este capítulo se puede decir que para la elaboración y el desarrollo de un robot autónomo es necesario la integración de diversos sistemas interdependientes, como los sensores, actuadores, fuentes de energía, sistemas de control, navegación y localización, entre

otros. Cada uno de estos componentes cumple un papel esencial en la capacidad del robot para percibir su entorno, tomar decisiones y ejecutar acciones de manera eficiente y segura.

La comprensión teórica de estos elementos no permite solo diseñar y construir robots funcionales, sino también optimizar su rendimiento en función de los objetivos específicos de cada aplicación. Este marco teórico proporciona las bases necesarias para el desarrollo del presente proyecto, orientado a la implementación de un sistema robótico capaz de operar de forma autónoma en entornos complejos y dinámicos, similar al que se muestra a continuación en la Figura 16.

**Figura 16:**

*Robot Hexápodo*



**Fuente:** Elaboración propia

**CAPÍTULO III**  
**MARCO METODOLÓGICO**

El presente marco metodológico describe el enfoque, los métodos y las técnicas utilizadas para el desarrollo del proyecto titulado “Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con AI para lugares de difícil acceso”

Este apartado expone detalladamente el tipo de investigación adoptado, el enfoque metodológico, finalidad de la investigación, dimensión temporal, marco de la investigación, naturaleza de la investigación, carácter del proyecto y otros. La metodología propuesta se orienta a garantizar la validez, pertinencia y aplicabilidad del prototipo en contextos reales de operación de la CNE.

### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

En base a lo que indica (Tamayo, 2003) “La investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (p.37)

Por consiguiente, el desarrollo de esta investigación se orienta hacia la obtención de información y la búsqueda de soluciones que favorezcan una comprensión más eficiente y profunda sobre un tema específico, con el propósito de alcanzar el objetivo de diseñar e implementación un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente por medio de un robot con AI para lugares de difícil acceso.

#### **3.1.1 Enfoque de la investigación**

El enfoque metodológico de esta investigación es mixto, ya que integra elementos tanto cuantitativos como cualitativos para obtener una visión más completa y profunda del fenómeno en estudio: el desarrollo y validación de un robot autónomo con capacidades de reconocimiento inteligente para su aplicación en situaciones de emergencia.

Según (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017), el enfoque mixto “implica recolectar, analizar y vincular datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o en una serie de investigaciones para responder al planteamiento del problema de investigación” (p. 539). Este enfoque permite aprovechar las fortalezas de ambos paradigmas: la objetividad y precisión de los datos numéricos, junto con la riqueza contextual y profundidad interpretativa de la información cualitativa.

Por su parte, (Creswell & Plano , 2011) afirman que “el enfoque mixto es especialmente útil cuando se desea comprender no solo los resultados, sino también los procesos y las experiencias de los actores involucrados” (p. 5), lo cual es clave en proyectos tecnológicos aplicados, como este, donde se requiere evaluar tanto el rendimiento funcional del prototipo como la percepción de los usuarios y expertos.

En este estudio, se utilizarán técnicas cualitativas (como entrevistas y observación) para recoger información sobre los requerimientos técnicos y operativos del robot, así como técnicas cuantitativas (como encuestas y pruebas de rendimiento) para medir el comportamiento del prototipo en escenarios simulados.

### **3.1.2 Finalidad de la Investigación**

La presente investigación tiene una finalidad aplicada, ya que se enfoca en la solución de un problema real que afecta directamente los procesos de atención ante emergencias en Costa Rica. En particular, busca contribuir al fortalecimiento operativo de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) mediante el desarrollo de un prototipo robótico autónomo con inteligencia artificial, capaz de operar en terrenos de difícil acceso, como zonas colapsadas o comprometidas por desastres naturales.

Este propósito práctico implica la integración de conocimientos técnicos de áreas como la robótica, la inteligencia artificial, los sistemas de navegación autónoma y el reconocimiento de patrones visuales, con el objetivo de generar una herramienta tecnológica útil para los equipos de rescate. La finalidad, por tanto, no es únicamente crear un dispositivo funcional, sino que este represente un avance significativo en términos de seguridad, eficiencia y alcance operativo durante situaciones de emergencia.

A través de esta aplicación tecnológica, se espera minimizar el riesgo para el personal de rescate, facilitar la localización de víctimas y la evaluación preliminar de estructuras, permitiendo una respuesta más rápida, precisa y segura por parte de las autoridades competentes.

### **3.1.3 Dimensión Temporal**

La dimensión temporal se define como: “el número de momentos o puntos en el tiempo en el cuales se recolectan datos” (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017)

Así mismo agregan (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017) lo siguiente:

En ocasiones el interés del investigador es analizar cambios a través del tiempo de determinadas categorías, conceptos, sucesos, variables, contextos o comunidades; o bien, de las relaciones entre éstas. Aún más, a veces ambos tipos de cambios. Entonces disponemos de los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos a través del tiempo en puntos o periodos, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. (p,159).

Con base en la cita anterior y dando rumbo a la investigación para el proyecto a implementar se acota que este estudio es de tipo sincrónico, ya que se desarrolla en un tiempo

determinado y finito: durante el primer semestre del año 2025. No contempla el análisis de procesos históricos, sino la implementación actual de una solución tecnológica.

### **3.1.4 Marco de la investigación**

Esta investigación se desarrolla en el contexto institucional de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) de Costa Rica, entidad responsable de coordinar la atención y prevención de desastres naturales y emergencias en el país. La problemática abordada se inserta en el ámbito de la gestión del riesgo y la respuesta ante situaciones de crisis, donde la necesidad de herramientas tecnológicas innovadoras se vuelve cada vez más urgente para mejorar la eficacia operativa en escenarios de difícil acceso y alto riesgo para el personal humano.

Desde el punto de vista disciplinario, la investigación se ubica dentro del campo de la ingeniería electrónica, con un enfoque específico en el diseño y desarrollo de robótica autónoma y sistemas inteligentes. Estos campos permiten la integración de sensores, algoritmos de inteligencia artificial, sistemas de navegación autónoma y módulos de procesamiento de datos en tiempo real, todo con el fin de dotar al robot de capacidades que favorezcan su funcionamiento autónomo y eficiente en entornos de emergencia.

El estudio tiene una orientación aplicada, en tanto busca generar una solución tecnológica concreta que apoye las labores de rescate y evaluación, contribuyendo al fortalecimiento de las capacidades institucionales de la CNE. Como lo plantea ( Macías , 2024), “Para la realización de tareas concretas los robots avanzados incorporan sistemas de IA que permiten automatizar tareas manuales, físicas, intelectuales y cognitivas. Esta automatización de tareas aparecerá como asistencia o sustitución de funciones específicas realizadas por las personas trabajadoras” (p.109), lo que justifica plenamente la pertinencia de esta propuesta en el contexto nacional.

En consecuencia, el marco de esta investigación se sitúa en la intersección entre la tecnología avanzada y las necesidades sociales urgentes, proponiendo una solución innovadora al servicio de la gestión de emergencias en Costa Rica.

### **3.1.5 Naturaleza de la investigación**

La naturaleza de esta investigación es experimental y aplicada, debido a que se orienta al diseño, construcción y evaluación de un prototipo funcional de robot autónomo con capacidades de reconocimiento inteligente, el cual será probado en entornos simulados que representen condiciones reales de emergencia.

El enfoque experimental implica la manipulación directa de variables técnicas y el desarrollo de pruebas controladas para validar el desempeño del sistema robótico. Esto incluye la verificación de su capacidad de desplazamiento autónomo, la precisión del reconocimiento de personas o estructuras colapsadas, y su respuesta operativa en condiciones adversas, como terrenos inestables o con visibilidad reducida. La recolección y el análisis sistemático de datos permitirán valorar la eficacia del prototipo frente a los objetivos propuestos, ajustando y optimizando sus componentes conforme a los resultados obtenidos.

Además, esta investigación es de carácter aplicado, pues no se limita a generar conocimiento teórico, sino que busca dar solución a una problemática concreta: mejorar la capacidad de respuesta de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) mediante el uso de tecnología robótica avanzada. De este modo, la investigación propone una solución que tiene impacto potencial inmediato en el contexto institucional y operativo de dicha entidad.

Como lo señala (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017), “la investigación experimental aplicada se centra en probar soluciones prácticas en escenarios específicos, con el

fin de responder a necesidades reales mediante la validación empírica.” (p. 120), lo que reafirma la pertinencia de este enfoque para el presente estudio.

### **3.1.6 Carácter de la investigación**

El carácter de esta investigación es tecnológico e interdisciplinario, ya que su desarrollo implica la integración de diversas áreas del conocimiento para abordar un problema complejo desde múltiples perspectivas. La propuesta busca diseñar e implementar un prototipo robótico con inteligencia artificial, orientado a mejorar la capacidad operativa de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) ante escenarios de difícil acceso. Esta finalidad exige no solo una comprensión técnica, sino también una visión estratégica de su aplicación en el contexto de la gestión del riesgo.

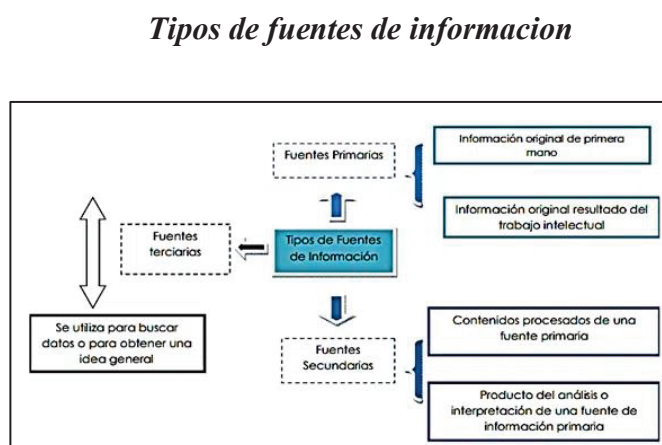
Desde el punto de vista tecnológico, el proyecto involucra el diseño y ensamblaje de sistemas de hardware y software avanzados, que combinan robótica móvil, inteligencia artificial, navegación autónoma, procesamiento de datos en tiempo real y reconocimiento visual. Al mismo tiempo, se requiere una sólida base en electrónica, especialmente en el desarrollo e integración de sensores, actuadores, sistemas de control y fuentes de alimentación que garanticen la autonomía del prototipo.

Por otro lado, el carácter interdisciplinario se manifiesta en la vinculación de estos componentes tecnológicos con principios de la gestión del riesgo y la atención de emergencias, considerando aspectos como la seguridad operativa, la utilidad en situaciones críticas y la viabilidad de implementación en entornos reales. Este enfoque holístico permite no solo construir una solución funcional, sino también garantizar que responda de manera efectiva a las necesidades y protocolos establecidos por instituciones como la CNE.

Además, el proyecto posee una orientación práctica y resolutoria, al buscar el desarrollo de un producto concreto capaz de mitigar riesgos humanos, aumentar la eficiencia operativa y mejorar la toma de decisiones en campo. Tal como afirma ( Rincón , 2011) “la investigación tecnológica se caracteriza por generar innovaciones que contribuyen a resolver problemas reales, mediante la aplicación sistemática de conocimientos científicos y técnicos” (p. 89), lo cual encaja plenamente con el propósito de esta investigación.

### 3.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

Figura 17:



**Fuente:** (Maranto & González, 2015)

Según (Maranto & González, 2015) expone que:

Una fuente de información es todo aquello que es utilizado como dato útil en la recopilación para generar un documento o proyecto entre otras cosas, toda esta información proporciona datos y estudios correspondientes, dirigidos o enfocados a la investigación a desarrollar. (p.1)

### **3.1.1 Fuentes de Información Primarias**

Este tipo de fuentes contienen información original es decir son de primera mano, son el resultado de ideas, conceptos, teorías y resultados de investigaciones. Contienen información directa antes de ser interpretada, o evaluado por otra persona. Las principales fuentes de información primaria son los libros, monografías, publicaciones periódicas, documentos oficiales o informe técnicos de instituciones públicas o privadas, tesis, trabajos presentados en conferencias o seminarios, testimonios de expertos, artículos periodísticos, videos documentales, foros (Maranto & González, 2015) (p.2)

### **3.1.2 Fuentes secundarias**

Este tipo de fuentes son las que ya han procesado información de una fuente primaria. El proceso de esta información se pudo dar por una interpretación, un análisis, así como la extracción y reorganización de la información de la fuente primaria. (Maranto & González, 2015) (p.2)

### **3.1.3 Sujetos de información**

Cuando se menciona a los sujetos de estudio, se hace referencia a un tipo de investigación científica cuyo proceso de recolección de información se realiza mediante la aplicación de métodos y técnicas que implican trabajo de consulta y conversación con personas, lo cual es la investigación de campo.

Con respecto a lo antes expuesto, (Mata , 2021) manifiesta que “Los sujetos de estudio son aquellas personas o grupos de personas que forman parte de los colectivos cuyas características, opiniones, experiencias, condiciones de vida, entre otros rasgos y atributos cobran interés particular para investigaciones con enfoque cuantitativo o cualitativo.” (párr. 3)

En este caso en particular se contactará a la persona encargada de la Dirección de Gestión de Riesgos de la Comisión Nacional de prevención de riesgos y atención de emergencias.

### **3.2 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS**

Las técnicas y herramientas utilizadas en una investigación representan elementos fundamentales para la recolección, análisis y validación de datos, los cuales sirven como base para orientar adecuadamente el desarrollo, diseño, evaluación e implementación de un proyecto. Estas técnicas permiten estructurar de forma metodológica el proceso de indagación, garantizando que los resultados obtenidos respondan a los objetivos planteados y contribuyan a la toma de decisiones fundamentadas.

Existen diversas formas de recopilar información, tanto cualitativas como cuantitativas, que incluyen desde la observación directa y las entrevistas, hasta encuestas estructuradas o la revisión documental. Cada una de estas técnicas se selecciona en función de las características del problema, el tipo de población objetivo, el contexto de aplicación y el nivel de profundidad que se requiere en el análisis.

La finalidad principal de aplicar estas herramientas no se limita únicamente a recolectar datos, sino que busca generar nuevas perspectivas, interpretaciones y conocimientos que permitan comprender a fondo la situación planteada, identificar patrones, y, sobre todo, aportar soluciones viables a la problemática abordada. En este sentido, las técnicas utilizadas en esta investigación contribuirán significativamente al diseño y validación del prototipo robótico autónomo con inteligencia artificial, asegurando su pertinencia, funcionalidad y aplicabilidad en contextos reales de emergencia.

### 3.2.1 Observación

La observación es una técnica fundamental en la investigación científica que consiste en registrar de manera sistemática, directa y deliberada los comportamientos, fenómenos o hechos tal y como ocurren en su contexto natural, sin intervenir en su desarrollo. Esta técnica es especialmente útil para comprender dinámicas, patrones y relaciones que pueden no ser evidentes mediante otros métodos.

Según (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017), manifiestan que:

La observación consiste en el uso sistemático de los sentidos para recoger datos sobre el fenómeno que se desea estudiar; puede ser estructurada, cuando se planifica con base en una guía u hoja de observación, o no estructurada, cuando se deja abierta a lo que el investigador perciba. (p. 382).

De igual manera, (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017), afirman que “la observación científica es un proceso intencionado, planificado y controlado que permite al investigador describir fenómenos tal como se presentan en la realidad, brindando información valiosa especialmente en estudios de campo o con prototipos experimentales” (p. 225).

En el marco de esta investigación, la observación será clave para registrar el comportamiento y el desempeño del prototipo robótico en situaciones simuladas, permitiendo evaluar aspectos como la movilidad, el reconocimiento de objetos o personas, y la eficacia de su navegación autónoma en entornos complejos.

### **3.2.2 Entrevista**

La entrevista es una técnica cualitativa ampliamente utilizada en la investigación social, educativa y tecnológica, ya que permite obtener información detallada y profunda sobre percepciones, opiniones, experiencias o conocimientos de los sujetos involucrados en el estudio.

Según (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017), “la entrevista es una conversación que se realiza con un propósito definido: obtener información relevante para una investigación, mediante un proceso de interacción cara a cara entre el entrevistador y el entrevistado” (p. 390). Esta técnica puede ser estructurada, semiestructurada o no estructurada, dependiendo del nivel de control y flexibilidad que se desee tener sobre el contenido de las respuestas.

igualmente, (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017) señalan que “la entrevista se caracteriza por la capacidad de captar matices, significados y emociones que no siempre pueden ser detectados por otras técnicas, como las encuestas” (p. 230), lo cual la convierte en una herramienta clave cuando se busca profundizar en la comprensión de fenómenos complejos.

En el contexto de esta investigación, la entrevista será una herramienta esencial para recopilar información experta sobre los requisitos operativos, tecnológicos y funcionales que debe cumplir el prototipo robótico, así como para validar su aplicabilidad desde la perspectiva del personal de la Comisión Nacional de Emergencia (CNE).

### **3.2.3 Encuesta**

La encuesta es una técnica cuantitativa que consiste en la recolección de datos a través de cuestionarios estructurados aplicados a una muestra de personas, con el fin de obtener

información sobre opiniones, comportamientos, actitudes o características específicas de una población.

De acuerdo con (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017) ,“la encuesta es una técnica de recolección de datos en la que se plantea una serie de preguntas estandarizadas a los sujetos, con el propósito de medir variables y hacer generalizaciones sobre una población” (p. 384). Su uso es común en estudios descriptivos y correlacionales, ya que permite analizar relaciones entre variables con base en datos cuantificables.

Así mismo, (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017) explican que “la encuesta se caracteriza por su capacidad de recopilar información de manera eficiente en grandes grupos de personas, permitiendo al investigador obtener una visión amplia del fenómeno en estudio” (p. 228). Además, puede aplicarse de forma presencial, telefónica, en línea o por escrito, según las condiciones del entorno y los recursos disponibles.

En el contexto de esta investigación, la encuesta podría emplearse para recoger las percepciones o valoraciones de expertos y usuarios potenciales respecto al funcionamiento y utilidad del prototipo robótico autónomo, contribuyendo así a validar su diseño e impacto esperado en situaciones de emergencia.

#### **3.2.4 Pruebas de rendimiento**

Las pruebas de rendimiento son un conjunto de procedimientos experimentales utilizados para evaluar la eficiencia, velocidad, precisión, estabilidad y capacidad operativa de un sistema o prototipo bajo condiciones específicas o simuladas. Estas pruebas permiten comprobar si el dispositivo cumple con los requerimientos funcionales previamente establecidos.

Según (Pressman , 2010), “las pruebas de rendimiento se centran en examinar los atributos del sistema que se relacionan con la velocidad de procesamiento, el tiempo de respuesta, la fiabilidad, la escalabilidad y el consumo de recursos” (p. 297). En el ámbito de la robótica, esto se traduce en medir parámetros como el tiempo de navegación, la eficacia en la detección de obstáculos, la precisión en el reconocimiento de objetos o personas, y la autonomía energética.

Por su parte, (Sommerville , 2011) señala que “este tipo de pruebas permite validar la calidad del software y hardware en condiciones similares a las del entorno real, lo cual es fundamental para sistemas que deben operar en situaciones críticas” (p. 567), como es el caso de los robots diseñados para actuar en contextos de emergencia.

En esta investigación, las pruebas de rendimiento se aplicarán al prototipo robótico para evaluar su comportamiento en entornos simulados de emergencia, considerando variables como la precisión del sistema de reconocimiento, la eficiencia del algoritmo de navegación, y la autonomía operativa en terrenos de difícil acceso.

### **3.3 VARIABLES Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

En todo proceso investigativo, la definición de las variables y el diseño de la investigación son elementos esenciales que permiten estructurar y guiar el estudio de manera lógica y coherente. Las variables representan los aspectos observables y medibles del fenómeno en análisis, mientras que el diseño establece la planificación metodológica que orientará la recolección, el análisis y la interpretación de los datos.

En esta investigación, centrada en el desarrollo e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente para la exploración de zonas de difícil acceso, se

identifican y definen variables relacionadas con el rendimiento del prototipo, la efectividad del sistema de reconocimiento y la eficiencia del algoritmo de navegación. Asimismo, el diseño experimental de la investigación permitirá validar la funcionalidad del sistema en condiciones simuladas de emergencia, facilitando una evaluación integral de su comportamiento operativo.

Este apartado proporciona un marco detallado sobre las variables involucradas y el enfoque metodológico adoptado para su análisis, con el propósito de generar evidencia científica que respalde la viabilidad técnica y funcional del prototipo desarrollado para la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) de Costa Rica.

### **3.3.1 Definición de variables.**

En toda investigación, las variables representan los elementos que se desean observar, medir o controlar, y permiten establecer relaciones entre fenómenos para responder al problema de investigación. En este estudio, se definen las siguientes variables:

Variable 1: Relevancia y aplicabilidad de tecnologías

Variable 2: Precisión en la identificación y evaluación

Variable 3: Capacidad de desplazamiento autónomo

Variable 4: Rendimiento del prototipo

Estas variables permitirán evaluar objetivamente el impacto de la tecnología propuesta y validar su pertinencia como herramienta de apoyo en la gestión de emergencias por parte de la CNE.

**Tabla 3:***Variables de estudio, y sus definición conceptual y operativa*

<b>Objetivo Específico</b>	<b>Variable</b>	<b>Definición Conceptual</b>
1. Investigar las tecnologías actuales en robótica e inteligencia artificial aplicadas a emergencias.	Relevancia y aplicabilidad de tecnologías	Se refiere al grado en que las tecnologías actuales en robótica e inteligencia artificial pueden ser adaptadas de manera eficaz a escenarios de emergencia.
2. Diseñar un sistema de reconocimiento que permita la identificación de personas y evaluación de estructuras colapsadas.	Precisión en la identificación y evaluación	Capacidad del sistema robótico para detectar con exactitud personas y estructuras dañadas en entornos complejos.
3. Implementar un algoritmo de navegación autónoma para el robot.	Capacidad de desplazamiento autónomo	Nivel de autonomía con que el robot puede moverse y evitar obstáculos sin intervención humana, guiado por algoritmos inteligentes.
4. Evaluar el rendimiento del prototipo en condiciones simuladas de emergencia.	Rendimiento del prototipo	Eficiencia general del robot en términos de velocidad de operación, autonomía energética y capacidad de respuesta en escenarios críticos.

**Fuente:** Elaboración del autor (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

### 3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La implementación de la investigación representa una etapa crucial donde se materializan los objetivos planteados y se ponen a prueba las estrategias metodológicas previamente definidas. En esta fase, se concreta el desarrollo técnico del prototipo, desde el diseño del sistema de reconocimiento inteligente hasta la integración del algoritmo de navegación autónoma, permitiendo validar la funcionalidad del robot en condiciones simuladas de emergencia.

Este apartado detalla los pasos seguidos para llevar a cabo la investigación, incluyendo la planificación, el diseño del prototipo, la selección de componentes tecnológicos, la integración de los sistemas de inteligencia artificial y navegación, así como las pruebas de validación, esto se puede observar en la figura 17 a continuación.

**Figura 18:**

#### *Cronograma de Implementación propuesto*

Actividad / Fase	Abril (Semana 4)				Mayo (Semana. 1–4)				Junio (Semana. 1–4)				Julio (Semana.1–4)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. Planificación técnica y asignación de tareas		X														
2. Selección y adquisición de componentes tecnológicos				X	X											
3. Diseño e implementación del							X	X	X							

Actividad / Fase	Abril (Semana 4)				Mayo (Semana. 1-4)				Junio (Semana. 1-4)				Julio (Semana.1-4)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
sistema de reconocimiento IA																
4. Desarrollo del algoritmo de navegación autónoma									X	X	X					
5. Ensamblaje e integración del hardware y software del robot													X	X		
6. Ejecución de pruebas de funcionamiento y rendimiento													X	X		
7. Recolección de datos y análisis preliminar														X		
8. Ajustes finales al prototipo y validación de resultados															X	

**Fuente:** Elaboración del autor (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

**CAPÍTULO IV**

**DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

Este capítulo proporciona una base sólida para justificar la necesidad de innovación tecnológica y plantea con mayor claridad los factores que deben ser considerados para el diseño e implementación de un robot hexápodo autónomo que fortalezca la capacidad operativa de la CNE y contribuya a la protección de vidas humanas en situaciones críticas.

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, Costa Rica, por su ubicación geográfica, enfrenta constantemente amenazas naturales como terremotos, inundaciones, deslizamientos y erupciones volcánicas, estos eventos generan desafíos significativos en la atención de emergencias, particularmente en lo que respecta a la rapidez, seguridad y eficacia en la respuesta ante desastres. Como se expuso en el capítulo I, la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) se encuentra limitada por diversas condiciones operativas, como el acceso a zonas de difícil ingreso, la exposición del personal de rescate a entornos peligrosos, la falta de herramientas tecnológicas avanzadas y la necesidad de actuar con urgencia en la localización de víctimas.

Frente a esta realidad, era imprescindible realizar un diagnóstico profundo de la situación actual que permita comprender las causas estructurales del problema y orientar posibles soluciones desde un enfoque tecnológico, en este sentido, se empleó, en el capítulo I el diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa, (ver Figura 3, p. 27), una herramienta que facilita el análisis sistemático de las múltiples variables que inciden en la problemática, organizándolas en categorías claves, que revelan cómo interactúan y contribuyen al efecto principal que es, la limitada eficiencia en las operaciones de rescate ante desastres naturales.

Este análisis se complementa con la teoría expuesta en capítulos anteriores sobre el modelo de un robot hexápodo con inteligencia artificial, lo que permite valorar, desde una perspectiva integral, los recursos técnicos, humanos y metodológicos involucrados.

## **4.2 RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS**

Es importante señalar que la recolección y validación de datos es una etapa fundamental en cualquier proceso de investigación o desarrollo de proyectos, especialmente en el diagnóstico de la situación actual. Al respecto (Hernández, R, Fernández, C, & Baptista, P., 2017) exponen que el propósito de la recolección de datos en la investigación cualitativa no es medir variables para someterlas a un análisis estadístico y generar inferencias, sino que: “está orientada a proveer de un mayor entendimiento de los significados y experiencias de las personas.” (p.12).

De igual manera, agregan que: “en la investigación cualitativa los datos que interesan son conceptos, percepciones, creencias, emociones, experiencias, vivencias, entre otros; manifestados en el lenguaje de los(as) participantes” (..) Así, se recolectan datos de diferentes tipos, por ejemplo: “el lenguaje escrito, verbal, no verbal, conductas observables, imágenes, etcétera.” (p. 396-397).

Según Hernández y Duana, (2020, citado por (Sánchez, 2022) “Las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación” (p.38)

Las citas destacan la importancia central que tiene la recolección y validación de datos en los procesos investigativos, especialmente dentro del enfoque cualitativo, en este tipo de estudios, el interés no está en cuantificar, sino en comprender a profundidad las experiencias,

percepciones y realidades de los participantes. Como señalan Hernández, Fernández y Baptista (2017), el valor de los datos cualitativos radica en su riqueza expresiva y simbólica, lo que permite construir un diagnóstico más humano, contextualizado y significativo. Además, según Hernández y Duana (2020, citados por Sánchez, 2022), las técnicas de recolección son esenciales para responder a las preguntas de investigación, ya que conectan al investigador directamente con la realidad que se desea comprender. Estas reflexiones refuerzan la importancia de aplicar herramientas adecuadas y sensibles al contexto durante el proceso de obtención de información, que en este caso en particular fue la entrevista a los participantes de la CNE, bomberos y Cruz Roja.

#### **4.2.1 Recolección de datos**

Los datos se recopilaron por medio de la expresión de los participantes al aplicar la entrevista semiestructurada, como ya se había mencionado, esta entrevista estuvo dirigida a tres instituciones claves en la atención de emergencias en Costa Rica: la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), el Benemérito Cuerpo de Bomberos y la Cruz Roja Costarricense. Este proceso tuvo como propósito obtener información directa y contextualizada sobre las necesidades operativas, limitaciones técnicas y posibilidades de implementación de un robot autónomo con inteligencia artificial en escenarios de difícil acceso.

Las entrevistas fueron realizadas de manera presencial y virtual, según la disponibilidad de los participantes, y tuvieron una duración aproximada de 30 a 45 minutos cada una, y, además, para garantizar la validez del instrumento, se elaboró una guía con preguntas abiertas y flexibles.

#### **4.2.2 Instrumento para recolección de datos**

Para obtener información directa, contextual y confiable sobre las necesidades reales en escenarios de emergencia, se utilizó, como ya se indicó, un instrumento principal, la entrevista semiestructurada, esta técnica permite explorar en profundidad aspectos claves, manteniendo cierta flexibilidad para adaptar las preguntas según el rol del entrevistado.

El cuestionario de la entrevista fue diseñado en torno a algunos ejes temáticos, como por ejemplo las limitaciones actuales en la atención a zonas de difícil acceso, las necesidades de reconocimiento previo del terreno, tecnologías disponibles y utilizadas, ventajas y carencias en el uso de tecnologías autónomas, opinión sobre la viabilidad de implementar un robot autónomo para reconocimiento, entre otros.

### **4.3 ANÁLISIS DE LAS ENTREVISTAS APLICADAS**

Las entrevistas se dirigieron, como ya se viene manifestando en párrafos anteriores, a tres actores claves, el Cuerpo de Bomberos, la Cruz Roja Costarricense y la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), instituciones que forman parte del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, para aplicar el cuestionario elaborado, se seleccionaron informantes con amplia experiencia en campo y toma de decisiones, garantizando la validez del contenido recogido.

El objetivo fue identificar limitaciones reales durante operaciones de rescate en zonas de difícil acceso, así como explorar el potencial uso de tecnologías robóticas autónomas como herramientas complementarias en misiones de reconocimiento, búsqueda y rescate. Así mismo, cada entrevista se estructuró en torno a ejes temáticos claves, que facilitaron la organización y sistematización posterior de la información.

Para ello se agruparon las respuestas y reflexiones de los participantes por medio de los siguientes ítems o ejes temáticos:

**Situaciones críticas enfrentadas:** Todos los organismos entrevistados coincidieron en que los deslizamientos de tierra, las estructuras colapsadas y el aislamiento geográfico representan los mayores desafíos tanto logísticos como humanos durante las emergencias. Ejemplos como el huracán Otto o eventos ocurridos en zonas montañosas de difícil acceso, como Cambronero o Talamanca, evidencian cómo estos fenómenos naturales complican severamente las labores de rescate.

La topografía irregular, las condiciones meteorológicas extremas y la falta de infraestructura vial adecuada dificultan el acceso rápido de los equipos de emergencia a las zonas afectadas. Esta situación no solo retrasa la atención oportuna a las víctimas, sino que también incrementa significativamente el riesgo para los propios rescatistas, quienes a menudo deben exponerse a terrenos inestables, sin visibilidad clara y con posibilidad de réplicas o nuevos deslizamientos.

Además, se señaló que la falta de información en tiempo real sobre la magnitud del daño en estas áreas impide una planificación eficiente de la respuesta. En este contexto, contar con herramientas tecnológicas que puedan anticiparse o facilitar el reconocimiento del terreno se vuelve fundamental para mejorar la capacidad de respuesta y la seguridad operativa.

**Obstáculos físicos y ambientales:** Los representantes de las instituciones entrevistadas detallaron una amplia variedad de obstáculos que afectan seriamente las labores de rescate y asistencia en situaciones de emergencia. Entre los más comunes se encuentran el terreno inestable, que puede colapsar fácilmente bajo el peso de vehículos o rescatistas; la vegetación

densa, que bloquea rutas y requiere un esfuerzo considerable para abrir paso; y las lluvias intensas, que provocan inundaciones, deslaves y reducen la estabilidad del suelo. Asimismo, la baja visibilidad nocturna representa un riesgo crítico, ya que limita el reconocimiento del entorno y dificulta la localización de personas atrapadas.

Se mencionaron también los escombros de estructuras colapsadas, que no solo obstaculizan el paso, sino que pueden presentar amenazas adicionales como objetos punzocortantes o materiales tóxicos. El calor extremo, especialmente en zonas de baja altitud o expuestas al sol, contribuye al agotamiento físico del personal y al sobrecalentamiento de los equipos. A esto se suma la falta de caminos transitables, lo que obliga en muchos casos a realizar desplazamientos a pie o por medios improvisados, aumentando los tiempos de respuesta.

Estas condiciones no solo dificultan el ingreso inicial a las zonas afectadas, sino también el traslado de heridos, herramientas especializadas y equipos de comunicación, fundamentales para coordinar acciones en terreno. En varios escenarios, se han visto obligados a interrumpir misiones por motivos de seguridad, ante el riesgo de nuevos deslizamientos, colapsos o condiciones ambientales adversas. Todo esto pone en evidencia la necesidad urgente de contar con soluciones tecnológicas, como robots autónomos de reconocimiento, que puedan operar en condiciones extremas sin exponer vidas humanas.

**Limitaciones técnicas actuales:** Si bien actualmente las instituciones de emergencia en Costa Rica disponen de ciertos recursos tecnológicos como drones aéreos, cámaras térmicas y sensores acústicos, estos presentan limitaciones significativas al ser utilizados en entornos extremos. Los drones, por ejemplo, suelen verse afectados por condiciones climáticas adversas como fuertes vientos, lluvias o niebla, lo que reduce su maniobrabilidad y autonomía. Además,

su utilidad se restringe en áreas con vegetación cerrada o estructuras colapsadas, donde no pueden penetrar visualmente ni acceder con facilidad.

En cuanto a las cámaras térmicas, si bien son útiles para detectar fuentes de calor humano, su alcance y precisión disminuyen considerablemente cuando hay interferencias como escombros, paredes gruesas o materiales reflectantes. Lo mismo ocurre con los sensores acústicos, que muchas veces no logran distinguir sonidos humanos en medio de un entorno con múltiples ruidos de fondo, como maquinaria, lluvia o el propio movimiento de los rescatistas.

Un aspecto crítico identificado en las entrevistas fue la ausencia de dispositivos autónomos de exploración terrestre o subterránea, capaces de navegar sin intervención humana directa en zonas de alto riesgo, como túneles colapsados, sótanos anegados o terrenos inestables. Esta carencia tecnológica limita las posibilidades de búsqueda y rescate, obligando al personal a exponerse directamente a peligros inminentes, lo que pone en riesgo su integridad física.

Igualmente, se señaló que la interoperabilidad entre los distintos equipos tecnológicos es limitada, lo cual dificulta el manejo centralizado de la información obtenida en tiempo real. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de integrar soluciones tecnológicas más robustas, autónomas y adaptables al contexto nacional, como robots exploradores capaces de recolectar datos térmicos, acústicos, visuales y ambientales, enviarlos en tiempo real a los centros de control y operar eficientemente en entornos hostiles sin poner en riesgo la vida humana.

**Valor estratégico de un robot autónomo:** Las tres instituciones entrevistadas, la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), el Cuerpo de Bomberos y la Cruz Roja Costarricense, coincidieron en valorar altamente la incorporación de un robot autónomo como herramienta estratégica en operaciones de rescate. Consideraron que un prototipo equipado con

sensores térmicos, cámaras de alta resolución, sistemas de detección de gases tóxicos o inflamables, y la capacidad de transmitir datos en tiempo real desde zonas de difícil acceso, representa un avance significativo en la gestión de emergencias en el país.

Este tipo de tecnología permitiría no solo mejorar la capacidad de respuesta durante las primeras horas críticas tras un desastre natural o estructural, sino también reducir considerablemente los riesgos que enfrentan los rescatistas al ingresar a zonas inestables o de alto peligro. Al proporcionar una visión detallada del entorno afectado antes del despliegue humano, se pueden planificar mejor las intervenciones, optimizar la asignación de recursos y evitar pérdidas humanas.

Asimismo, las instituciones resaltaron que la eficiencia de las misiones de rescate aumentaría considerablemente si se dispone de un dispositivo autónomo capaz de operar de manera continua en terrenos irregulares, en condiciones extremas o sin supervisión directa. Esto permitiría ampliar la cobertura operativa, especialmente en regiones montañosas o rurales donde el acceso puede tardar horas o incluso días. En conjunto, la posibilidad de integrar esta tecnología se visualiza como una herramienta de apoyo fundamental que reforzaría el sistema nacional de atención de emergencias, elevando su capacidad técnica, su autonomía en situaciones críticas y su resiliencia ante los desastres.

**Información crítica requerida para la toma de decisiones:** Las entrevistas destacaron que, en situaciones de emergencia, contar con datos precisos, inmediatos y multidimensionales es fundamental para una respuesta eficaz. En particular, se identificó como prioritaria la recolección de información visual (imágenes y video en tiempo real), térmica (para detectar cuerpos humanos o animales mediante su temperatura), geográfica (ubicación exacta, mapas topográficos y coordenadas GPS) y acústica (identificación de ruidos, gritos o movimientos

bajo escombros). Estos datos permitirían a los equipos de rescate, comprender rápidamente la magnitud y naturaleza del evento, identificar zonas de mayor riesgo, localizar posibles víctimas y planificar rutas seguras de acceso. Además, disponer de esta información desde el primer momento facilita una coordinación interinstitucional más efectiva, minimiza el margen de error en las decisiones operativas, y contribuye a una asignación más eficiente de los recursos humanos y tecnológicos en escenarios altamente dinámicos y peligrosos.

**Condiciones operativas esperadas del prototipo:** Durante las entrevistas, los representantes de las instituciones de atención de emergencias coincidieron en que el prototipo robótico debe cumplir con una serie de exigencias técnicas y operativas para ser realmente funcional en entornos críticos. En primer lugar, se subrayó la importancia de que el robot opere de forma silenciosa, a fin de no interferir con la escucha de posibles señales acústicas emitidas por personas atrapadas ni delate su posición en situaciones delicadas. Asimismo, se requiere que el dispositivo sea altamente resistente a condiciones ambientales extremas, tales como barro espeso, humedad elevada, lluvias intensas, polvo, calor extremo o variaciones de temperatura que se presentan en zonas selváticas o durante incendios estructurales.

Otro elemento esencial es su capacidad de desplazamiento autónomo en terrenos irregulares, lo que implica que el robot debe poder sortear obstáculos como piedras, raíces, escombros o desniveles sin necesidad de intervención humana constante. A ello se suma la necesidad de mantener una comunicación estable y continua con los centros de control, incluso en zonas donde no hay cobertura celular ni acceso a redes tradicionales, lo cual podría requerir el uso de antenas de largo alcance, tecnología satelital o sistemas de retransmisión. Finalmente, se destacó que el robot debe ser portátil, ligero y fácil de operar por parte del personal de rescate, sin requerir conocimientos técnicos especializados o largos procesos de configuración, ya que

en emergencias cada minuto cuenta y la rapidez de despliegue puede marcar la diferencia entre la vida y la muerte.

**Disponibilidad institucional para colaboración:** Durante el proceso de entrevistas, se evidenció una apertura significativa por parte de las instituciones clave del sistema nacional de emergencias para colaborar en el desarrollo y validación del prototipo robótico. La Comisión Nacional de Emergencias (CNE) manifestó su disposición a participar activamente en pruebas piloto o escenarios simulados, con el objetivo de evaluar el rendimiento del robot en condiciones reales. No obstante, puntualizó que dicha participación estaría sujeta a que el proyecto no implique compromisos presupuestarios directos, dado que su planificación financiera se basa en recursos previamente asignados y priorizados para atención inmediata de emergencias.

Por su parte, tanto la Cruz Roja Costarricense como el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica expresaron un marcado interés en toda propuesta que promueva la innovación tecnológica aplicada a sus labores de rescate y atención de desastres. Estas instituciones subrayaron que enfrentan serias limitaciones en cuanto a personal operativo, presupuesto para adquisición de equipos avanzados, y tiempo de respuesta en situaciones de alta complejidad, por lo que consideran que la incorporación de herramientas autónomas representa una oportunidad para optimizar recursos, incrementar la seguridad de sus miembros y mejorar la eficiencia de las operaciones. Además, manifestaron su disposición a colaborar desde etapas tempranas del desarrollo, ofreciendo retroalimentación técnica, validación en campo y espacios de capacitación, lo cual representa una oportunidad valiosa para fortalecer la pertinencia y aplicabilidad del prototipo dentro del contexto costarricense.

Este proceso de recolección de datos, basado en voces expertas y evidencia empírica directa, permitió construir una visión clara y fundamentada sobre las brechas operativas,

logísticas y tecnológicas del sistema nacional de atención de emergencias. Además, sirvió como insumo clave para orientar el diseño del robot autónomo, asegurando su pertinencia y aplicabilidad al contexto costarricense.

#### **4.3.1 Análisis de las brechas**

Con respecto a este apartado, se realiza una comparación estructurada entre: **1.** La cantidad de actividades realizadas (avance actual), **2.** Lo pendiente por abordar, y **3.** La forma en que el proyecto contribuirá a cerrar esa brecha, todo con base en la información obtenida mediante entrevistas a la CNE, Cruz Roja y Bomberos de Costa Rica.

Tabla 4:

*Comparación de Actividades, Avance Actual y Brechas Pendientes*

<b>Dimensión Analizada</b>	<b>Actividades Realizadas Actualmente</b>	<b>Brechas Pendientes</b>	<b>Contribución del Proyecto (Robot Autónomo)</b>
<b>Acceso a zonas de difícil ingreso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingreso manual del personal</li> <li>- Uso limitado de drones en clima favorable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imposibilidad de ingreso en zonas con deslaves o estructuras colapsadas</li> <li>- Riesgo alto para rescatistas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El robot podrá ingresar a zonas inaccesibles sin poner en peligro vidas humanas</li> </ul>
<b>Reconocimiento del terreno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploración visual directa</li> <li>- Fotografías aéreas con drones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imposibilidad de obtener imágenes térmicas o bajo estructuras</li> <li>- Poca visibilidad en zonas densas o nocturnas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El robot podrá captar imágenes térmicas, visuales y acústicas en tiempo real y en espacios reducidos</li> </ul>
<b>Localización de víctimas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perros de rescate</li> <li>- Cámaras térmicas manuales</li> <li>- Acústica humana (gritos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitación para buscar bajo escombros</li> <li>- Condiciones que afectan el olfato y sonido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El robot podrá detectar señales térmicas y sonoras, mejorando la precisión de ubicación</li> </ul>

<b>Condiciones ambientales extremas</b>	- Suspensión de misiones en condiciones de lluvia intensa o riesgo geológico	- Baja operatividad en climas extremos o terrenos hostiles	- El prototipo estará diseñado para operar en barro, lluvia, calor y baja visibilidad
<b>Comunicación en zonas remotas</b>	- Comunicación por radio o teléfono satelital (limitado)	- Pérdida de señal en zonas montañosas o cerradas	- El robot contará con transmisores para enviar datos en tiempo real incluso con baja cobertura
<b>Disponibilidad tecnológica y logística</b>	- Equipos básicos (linternas, cuerdas, cámaras) - Escasez de personal técnico	- Carencia de tecnología autónoma adaptable - Déficit de equipos modernos	- El proyecto incluirá un prototipo autónomo con sensores avanzados, adaptable a necesidades locales
<b>Capacitación y pruebas tecnológicas</b>	- Formación operativa tradicional - Uso de equipos estándar	- Falta de experiencia en operación de robots - Pocas pruebas de campo con tecnología avanzada	- El proyecto contempla pruebas de campo y capacitación institucional junto a la CNE, Bomberos y Cruz Roja

**Fuentes:** Elaboración propia con base en la entrevista aplicada. (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

Por medio de esta Tabla, se proporciona una visión clara y estructurada de las brechas existentes en la atención de emergencias frente a las capacidades que podría aportar el proyecto del robot autónomo. Así mismo, se puede decir que, respecto a “las brechas existentes en la atención de emergencias” se refiere a las deficiencias, limitaciones o vacíos que todavía persisten en los sistemas, recursos o procedimientos destinados a responder ante una emergencia.

En otras palabras, son los puntos débiles que impiden que la atención de emergencias sea rápida, eficiente, inclusiva y efectiva. Ejemplos de “brechas en la atención de emergencias” son:

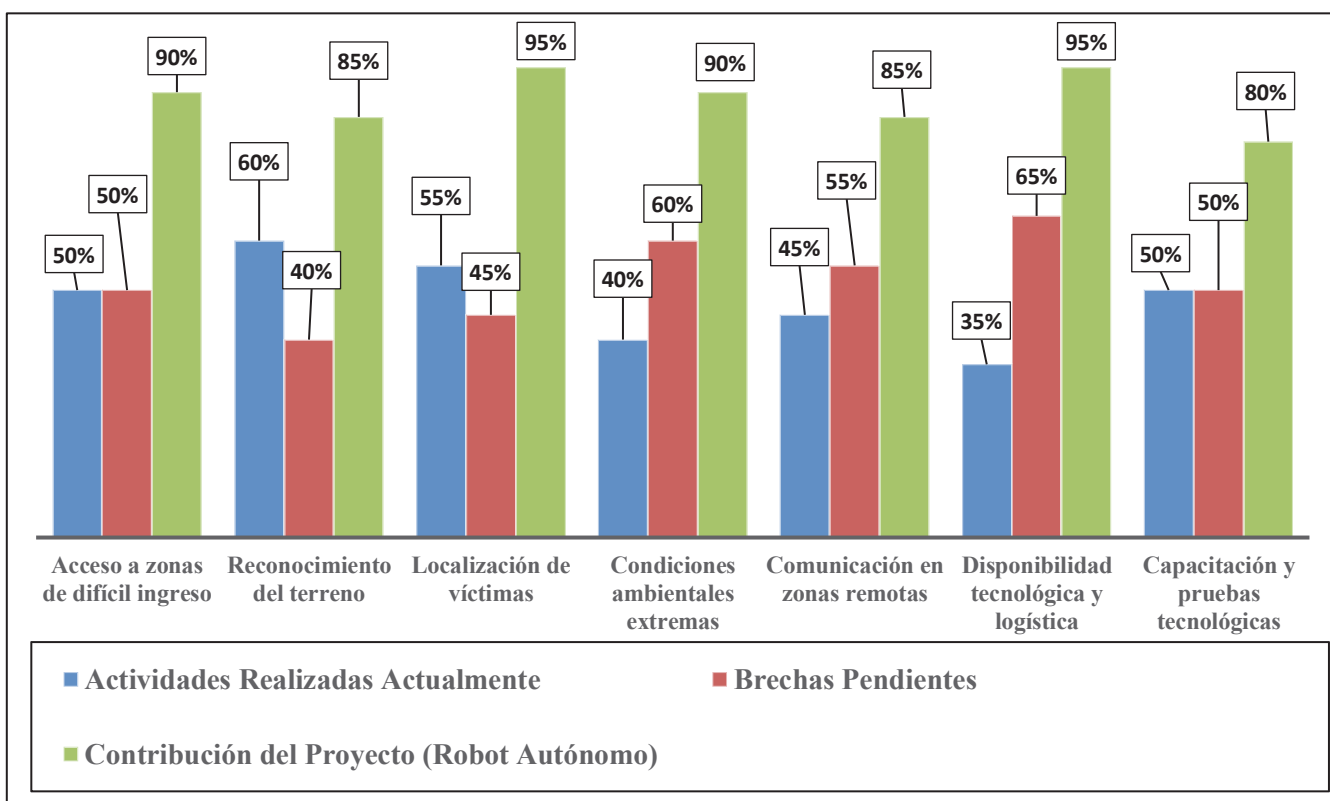
- **Infraestructura insuficiente:** falta de equipos de rescate, ambulancias, drones o robots de apoyo.
- **Capacitación desigual:** personal sin entrenamiento adecuado en protocolos actualizados.
- **Cobertura limitada:** zonas rurales o de difícil acceso donde no llegan los servicios de rescate.
- **Fallas en la comunicación:** ausencia de sistemas integrados entre bomberos, Cruz Roja, policía y comunidad.
- **Tecnología rezagada:** carencia de herramientas modernas como sensores, sistemas de mapeo (SLAM), o IA para reconocimiento en tiempo real.
- **Atención diferenciada:** poca preparación para atender a personas con discapacidad, adultos mayores o niños en situaciones de emergencia.

En el contexto del proyecto del robot autónomo, estas “brechas” justifican la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas que complementen el trabajo humano en lugares de difícil acceso y ayuden a cerrar esas limitaciones, sin embargo, esto es solo un prototipo que se utiliza como una prueba de conceptos sobre la exploración de soluciones.

Es por ello que, la comparación evidencia cómo las prácticas actuales, aunque útiles, son limitadas ante condiciones extremas, lo que expone a los rescatistas a riesgos innecesarios y reduce la eficacia de las operaciones.

**Gráfico 1:**

*Comparación de Actividades, Avance Actual y Brechas Pendientes*



*Fuentes:* Entrevista aplicada

El prototipo propuesto se presenta como una solución estratégica que no solo amplía el alcance tecnológico de las instituciones, sino que también mejora la seguridad, precisión y eficiencia en la localización de víctimas y el reconocimiento del entorno. La tabla respalda de forma concreta la pertinencia y viabilidad del proyecto, lo que se puede ver reflejado a través del Grafico 1.

El análisis de los datos recopilados mediante entrevistas y revisión documental ha permitido identificar con claridad las principales limitaciones operativas, técnicas y logísticas que enfrentan actualmente las instituciones de primera respuesta en situaciones de emergencia. A su vez, se evidenció un alto nivel de interés y apertura hacia la incorporación de soluciones tecnológicas innovadoras, como el desarrollo de un robot hexágono autónomo de reconocimiento.

Las opiniones y aportes de la CNE, Cruz Roja y Cuerpo de Bomberos, revelan coincidencias significativas en cuanto a las necesidades prioritarias, como son el acceso seguro a zonas de riesgo, recolección de información crítica en tiempo real, mejora de las condiciones de trabajo del personal y aumento de la eficiencia en la localización de víctimas. Asimismo, se destacan las oportunidades que el proyecto ofrece para cerrar brechas tecnológicas existentes, fortalecer capacidades institucionales y avanzar hacia una gestión de emergencias más segura, rápida y eficaz.

Este capítulo sienta una base sólida para justificar la pertinencia del proyecto de este prototipo propuesto, orientando su diseño y funcionalidad de acuerdo con las necesidades reales detectadas en el terreno y abriendo la puerta a una futura colaboración interinstitucional que permita validar su impacto y escalabilidad.

**CAPÍTULO V**  
**DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO**

El presente capítulo expone el proceso de diseño y desarrollo del prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con inteligencia artificial (IA) para lugares de difícil acceso, enmarcado en los objetivos planteados de esta investigación. El diseño constituye la fase en la que se concretan los lineamientos teóricos y metodológicos previamente analizados, traduciendo el planteamiento conceptual en un modelo funcional y aplicable a contextos reales.

En este apartado se describen las etapas fundamentales que guiaron la construcción del prototipo, desde la definición de los requerimientos técnicos y operativos, hasta la selección de materiales, componentes electrónicos, algoritmos de IA y sistemas de locomoción. Asimismo, se detallan los criterios de diseño orientados a garantizar la autonomía, la capacidad de reconocimiento en entornos hostiles y la seguridad operativa del dispositivo.

El desarrollo del proyecto se presenta de manera progresiva, abordando tanto el diseño mecánico y electrónico, como la integración del software de inteligencia artificial y los sistemas de comunicación. Se busca que cada decisión adoptada esté sustentada en la necesidad de que el robot pueda desempeñarse en situaciones donde la intervención humana representa un alto riesgo, tales como zonas de desastre, espacios confinados o terrenos irregulares.

Finalmente, este capítulo constituye la transición del marco conceptual a la materialización práctica, evidenciando cómo los principios de la robótica autónoma y la inteligencia artificial se integran en un prototipo con proyección hacia aplicaciones en emergencias, rescates y exploración científica.

## 5.1 ASPECTOS DE DISEÑO

El diseño del prototipo autónomo de reconocimiento inteligente, se fundamenta en una serie de criterios que garantizan su pertinencia, funcionalidad y viabilidad en el contexto de acción, o sea en lugares de difícil acceso, estos criterios permiten establecer lineamientos técnicos y metodológicos que orientan la toma de decisiones durante el proceso de desarrollo y construcción del robot, asegurando que cumpla con los objetivos planteados en el proyecto.

En primer lugar, se considera la *funcionalidad* como criterio esencial, dado que el prototipo debe ser capaz de realizar tareas de reconocimiento de manera autónoma, como por ejemplo, exploración y mapeo del entorno, reconocer objetos, escombros o irregularidades del terreno, clasificar obstáculos según su riesgo para la movilidad y seguridad, entre otros, recopilando información del medio mediante el uso de sensores y cámaras, este principio se complementa con la *autonomía*, la cual implica la capacidad del robot de desplazarse, procesar datos y tomar decisiones básicas sin depender constantemente de la intervención humana.

Asimismo, se establece la *seguridad y confiabilidad* como parámetros de diseño prioritarios, fundamentando que el prototipo debe resistir a condiciones adversas como polvo, humedad y obstáculos, avalando la protección de sus componentes electrónicos, de igual manera, *la movilidad* constituye un aspecto primordial, ya que el robot debe desplazarse de manera estable en terrenos asimétricos, lo que implica seleccionar un sistema de locomoción adecuado, como un mecanismo hexápodo, que se basa en seis patas articuladas, inspiradas en insectos, su diseño busca imitar la biomecánica natural, lo que le otorga al robot estabilidad, versatilidad y capacidad de desplazamiento en terrenos irregulares.

Otro criterio de relevancia es la *eficiencia energética*, dado que el prototipo debe marchar con autonomía suficiente en campo, optimizando el consumo de energía y utilizando sistemas de batería que permitan recarga rápida o fácil reemplazo. De manera complementaria, se integra *la comunicación y control*, asegurando que el robot pueda transmitir información en tiempo real a un centro de monitoreo y que cuente con la posibilidad de control manual en situaciones de emergencia o contingencia.

Finalmente, se contemplan criterios asociados a *la escalabilidad y modularidad*, lo que permitirá futuras mejoras en el diseño a través de la incorporación de nuevos sensores o algoritmos, así como *la viabilidad económica*, que se relaciona con la selección de materiales y componentes accesibles, garantizando un balance entre innovación tecnológica y sostenibilidad del proyecto.

En síntesis, los aspectos de diseño aquí planteados proporcionan la base estructural y técnica para el desarrollo del prototipo, asegurando que este cumpla con los requisitos de autonomía, resistencia y aplicabilidad en escenarios de difícil acceso, y sentando un marco de referencia para su implementación y mejora futura, a continuación, se elabora la Tabla 5 con los criterios enunciados.

**Tabla 5 :**

*Criterios de diseño del prototipo autónomo de reconocimiento inteligente*

<b>Criterio de diseño</b>	<b>Descripción</b>
<b>Funcionalidad</b>	El prototipo debe ejecutar tareas de reconocimiento autónomo, recopilando y procesando datos del entorno mediante sensores y cámaras.

<b>Autonomía</b>	Capacidad de desplazamiento y toma de decisiones básicas sin intervención humana constante, gracias al uso de algoritmos de IA.
<b>Seguridad y confiabilidad</b>	Resistencia a condiciones adversas (polvo, humedad, obstáculos) y protección de los componentes electrónicos
<b>Movilidad</b>	Estabilidad y desplazamiento eficiente en terrenos irregulares mediante un sistema de locomoción adecuado (ruedas, orugas o hexápodo).
<b>Eficiencia energética</b>	Optimización del consumo de energía y uso de baterías recargables o intercambiables que garanticen autonomía suficiente en campo.
<b>Comunicación y control</b>	Transmisión de información en tiempo real a un centro de monitoreo, con posibilidad de control manual en caso de contingencia.
<b>Escalabilidad y modularidad</b>	Posibilidad de incorporar mejoras futuras como nuevos sensores o algoritmos de reconocimiento sin rediseñar todo el sistema.
<b>Viabilidad económica</b>	Selección de materiales y componentes accesibles, buscando un equilibrio entre innovación tecnológica y sostenibilidad financiera

*Fuente:* Elaboración propia. (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

## 5.2 CONSTRUCCIÓN DEL PROTÓTIPO

La construcción del prototipo constituye una etapa fundamental en el desarrollo del proyecto, ya que permite materializar las especificaciones técnicas y los criterios de diseño previamente definidos. En esta fase se integran los diferentes elementos mecánicos, electrónicos

y de software que conforman el robot autónomo de reconocimiento, con el fin de garantizar su funcionamiento en entornos de difícil acceso.

### Ilustración 1:

#### *Accesorios*

 <p>Chassis</p>			USB HUB board
			OLED board
			OLED board accessory pack <sup>⑥</sup>
	OLED fixed plate		OLED board acrylic board
	USB HUB board accessory pack <sup>③</sup>		Charger
	Battery pack		PS2 handle+ AAA battery
	Astra Pro depth camera		Depth camera mounting bracket
	⑤ screw pack		XH2.54 cable
	USB 3.0 male-male		Micro USB cable (right-bend)
	OLED connection cable		Manual
	Screwdriver		Velcro

*Fuente:* Yahboom 2025

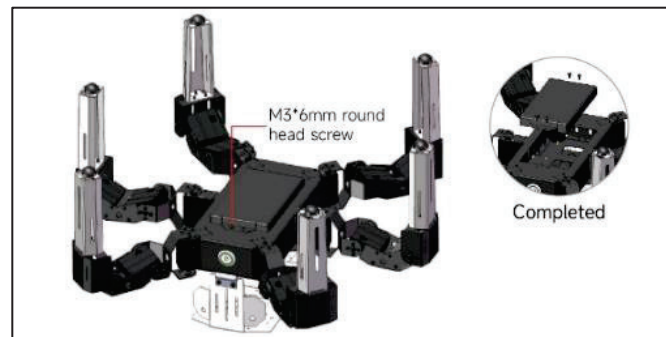
El proceso de construcción se desarrolló en varias etapas, en primer lugar, se efectuó la selección e integración de la estructura mecánica, basada en un sistema hexápodo que asegura estabilidad y movilidad en terrenos irregulares. Posteriormente, se incorporaron los mecanismos

de articulación y tracción, empleando servomotores de precisión que permiten un desplazamiento controlado y adaptable a diferentes condiciones ambientales.

### A) Pasos de ensamblaje

#### Ilustración 2:

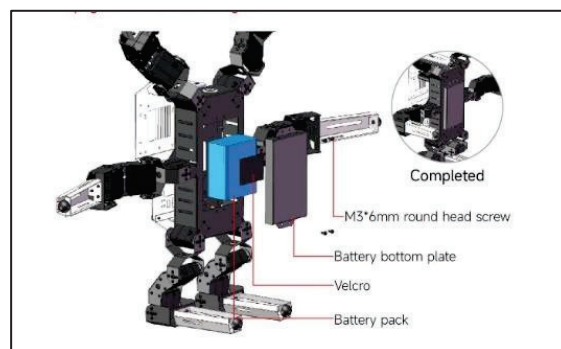
*Paso 1. Se desmonta la tapa inferior de la batería*



*Fuente:* Yahboom 2025

**Paso 2.** Se Instala la batería (Asegurándose de que el botón de encendido no esté presionado antes de la instalación)

#### Ilustración 3

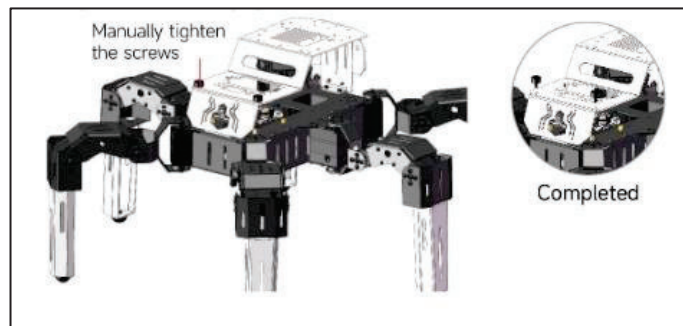


*Fuente:* Yahboom 2025

**Nota:** Se conecta primero el cableado del paquete de baterías y luego se coloca en la posición de la batería. Al instalar la batería, se debe mantener el hexápodo en posición vertical con la cabeza hacia abajo.

**Paso 3.** Se abre la placa superior de mudo.

**Ilustración 4:**



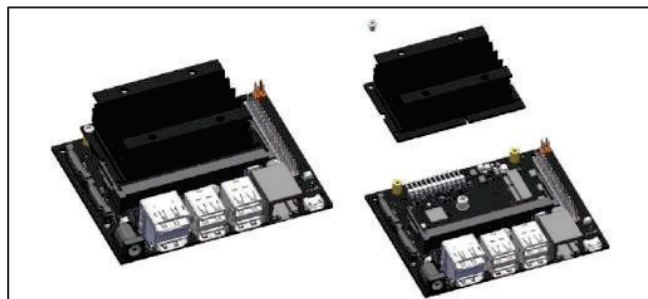
**Fuente:** Yahboom 2025

Se aprietan los tornillos manualmente

**Paso 4.** Instalar la placa Jetson NANO

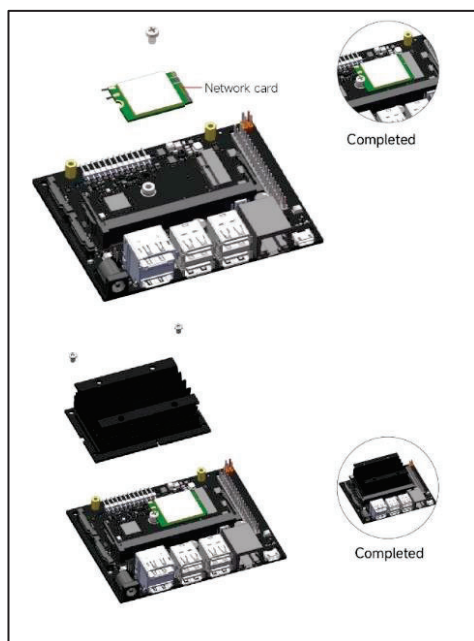
**Ilustración 5:**

*a) Se retira la placa base.*

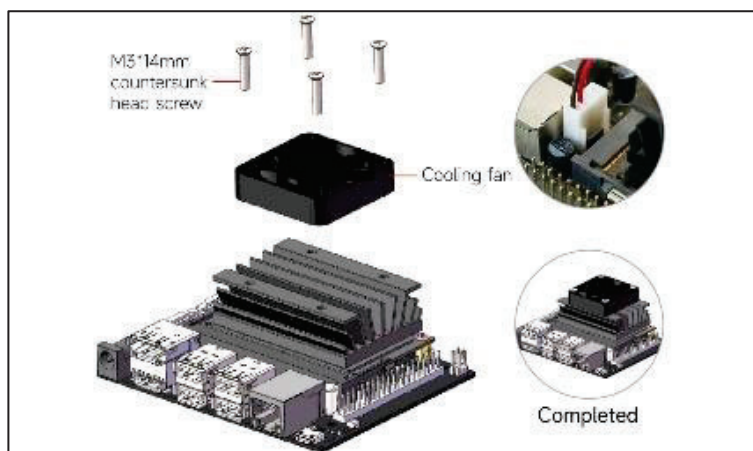


**Fuente:** Yahboom 2025

**Nota:** Se debe retirar la placa base con cuidado, los clips en ambos lados son fáciles de romper.

**Ilustración 6:*****b) Se instala la tarjeta de red***

*Fuente:* Yahboom 2025

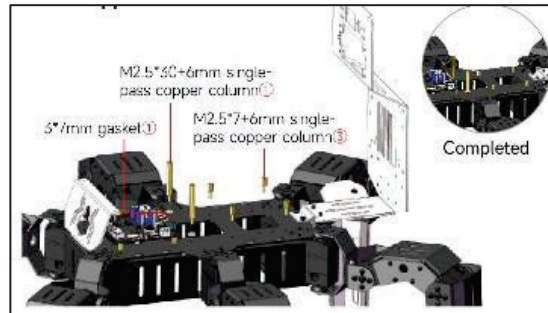
**Ilustración 7:*****c) Instalar el ventilador de refrigeración***

*Fuente:* Yahboom 2025

**Nota:** Después de instalar el ventilador, se conectan los cables.

**Ilustración 8:**

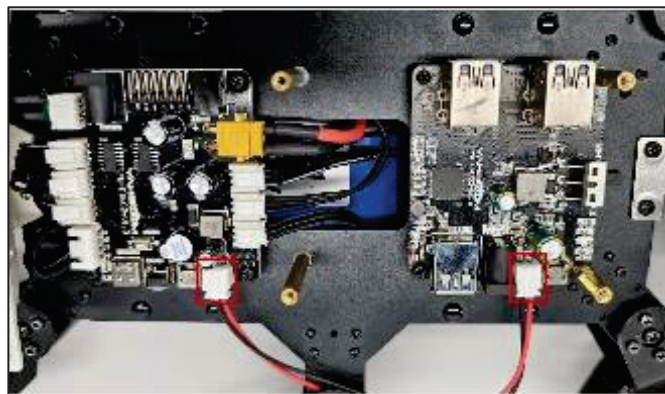
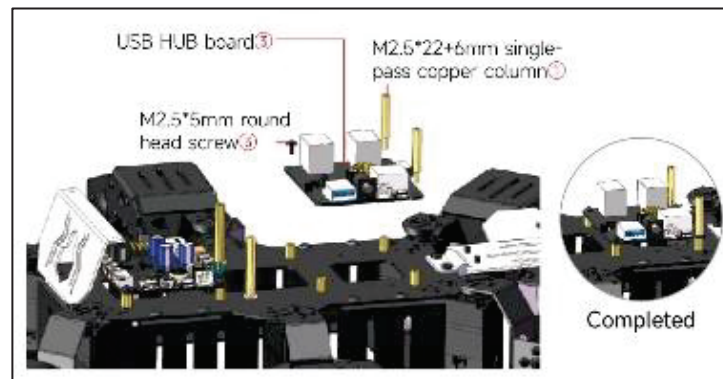
*d) Se instala la columna de cobre.*



*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 9:**

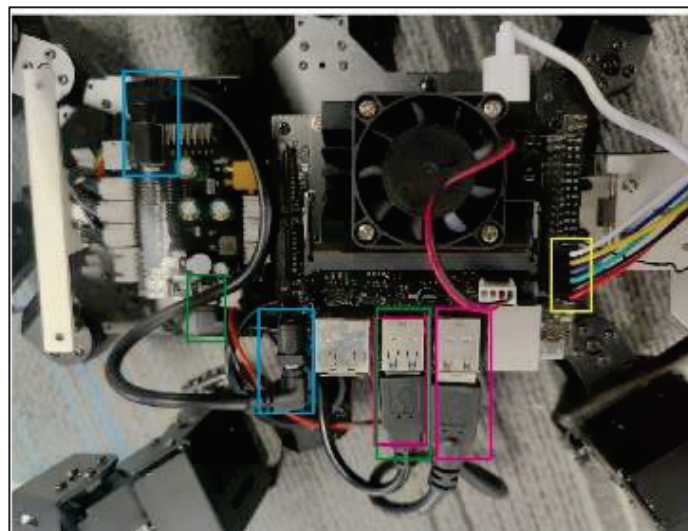
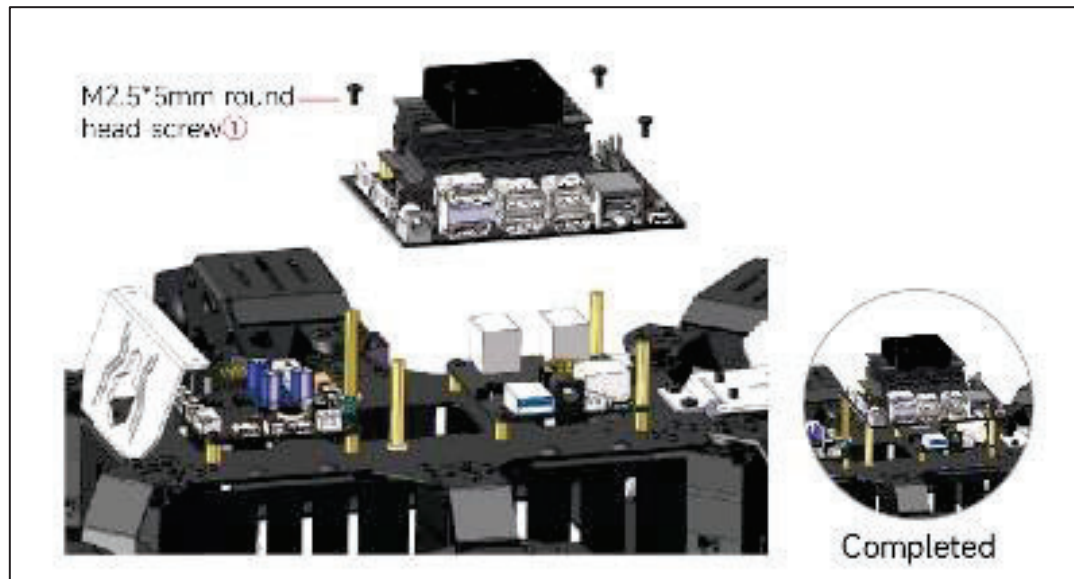
*e) Se instala la placa del concentrador USB.*



*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 10:**

*f) Se instala la placa Jetson NANO.*



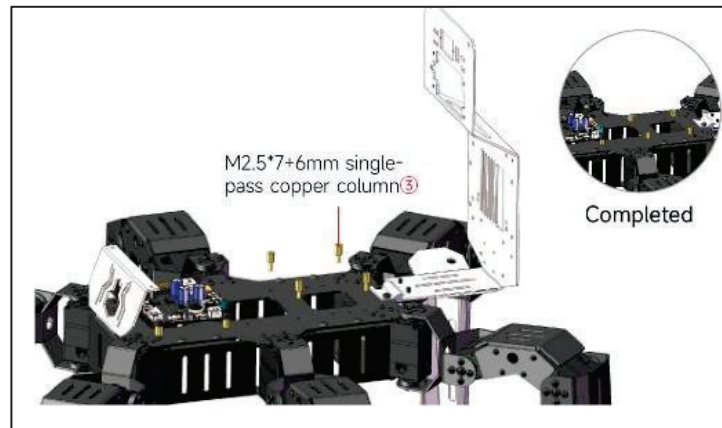
*Fuente:* Yahboom 2025

El área amarilla representa el cable de conexión OLED.

**Paso 5:** Se instala la placa Raspberry Pi.

**Ilustración 11:**

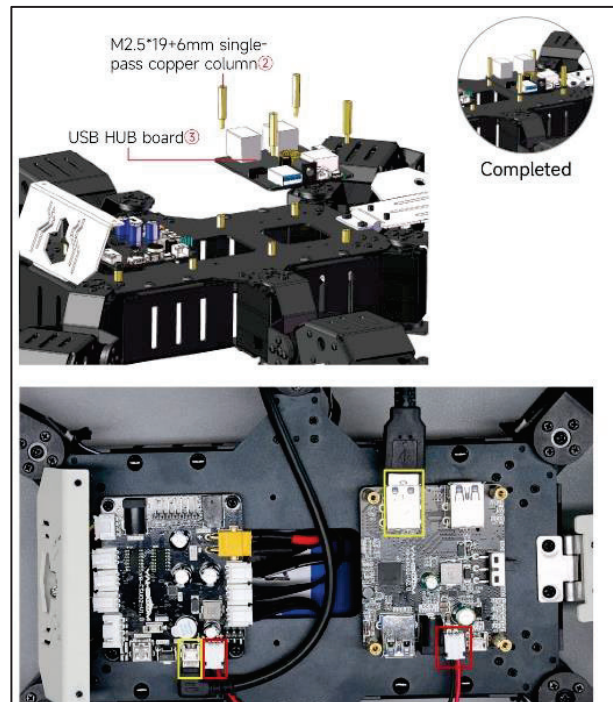
*a) Instalación de la columna de cobre*



*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 12:**

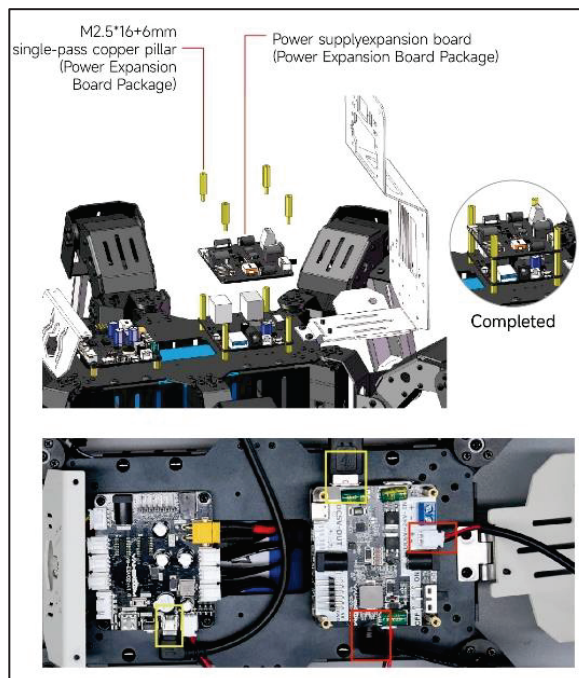
*b) Instalación de la placa de HUB USB.*



*Fuente:* Yahboom 2025

### Ilustración 13:

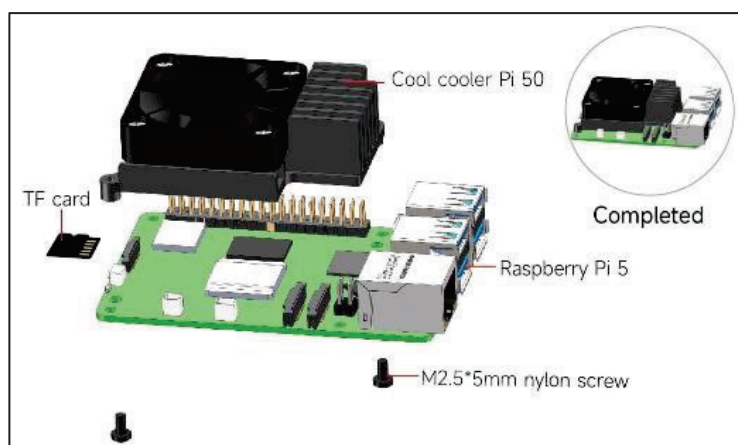
#### *c) Instalación de la placa de expansión de la fuente de alimentación.*



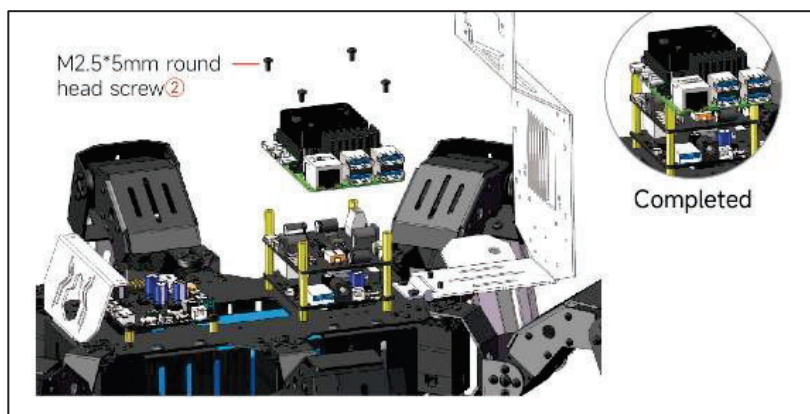
*Fuente:* Yahboom 2025

### Ilustración 14:

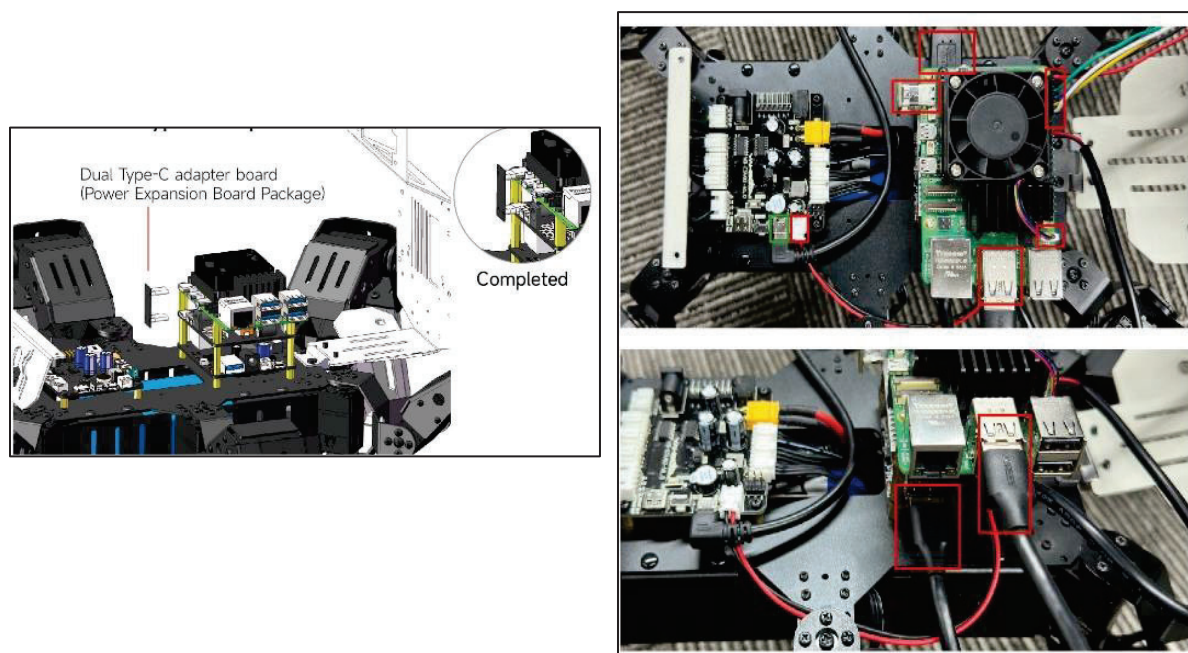
#### *d) Instalación del enfriador cool cooler PI 50.*



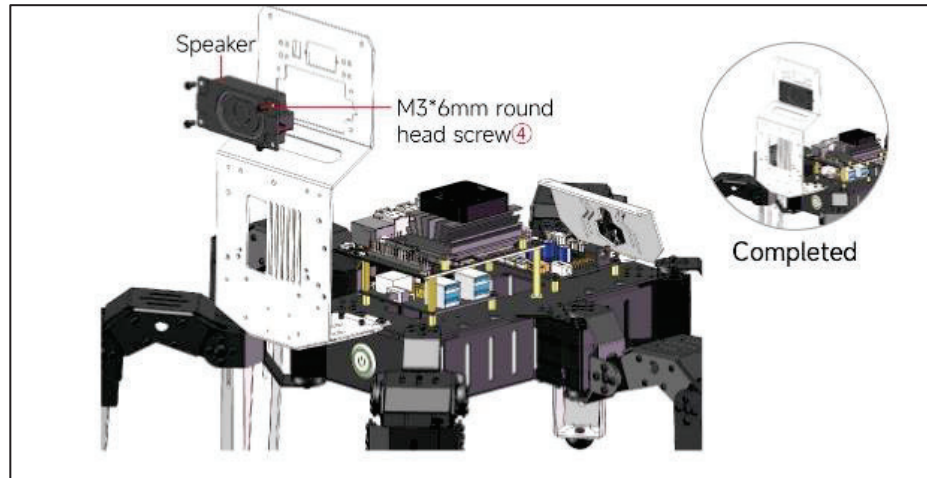
*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 15:*****e) Instalación de la placa Raspberry Pi.***

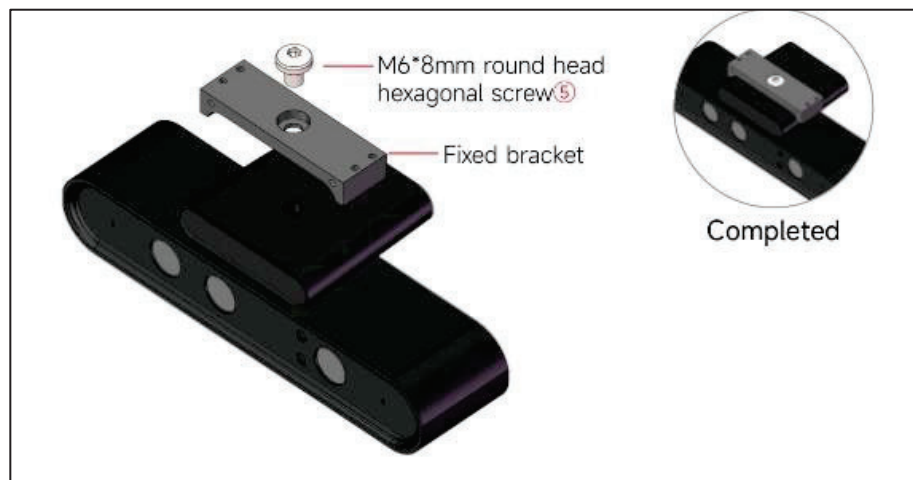
*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 16:*****f) Instalación de la placa adaptadora dual Tipo -c.***

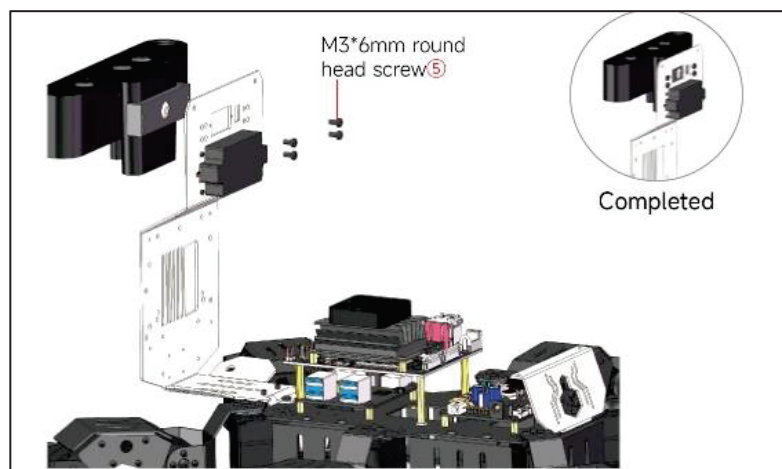
*Fuente:* Yahboom 2025

**Paso 6. Instalación del altavoz (módulo de voz)****Ilustración 17:**

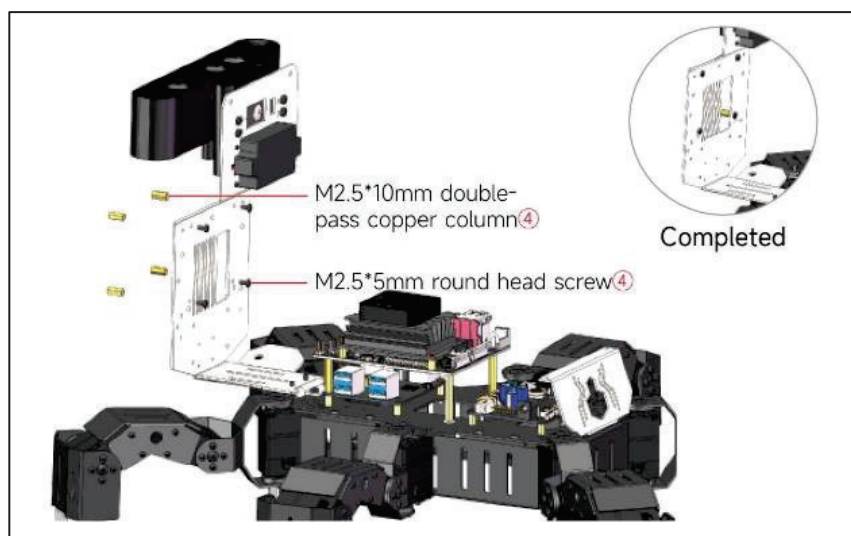
*Fuente:* Yahboom 2025

**Paso 7. Instalación de la cámara de profundidad.****Ilustración 18:*****a) Instalación del soporte***

*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 19:*****b) Instalación de la cámara de profundidad.***

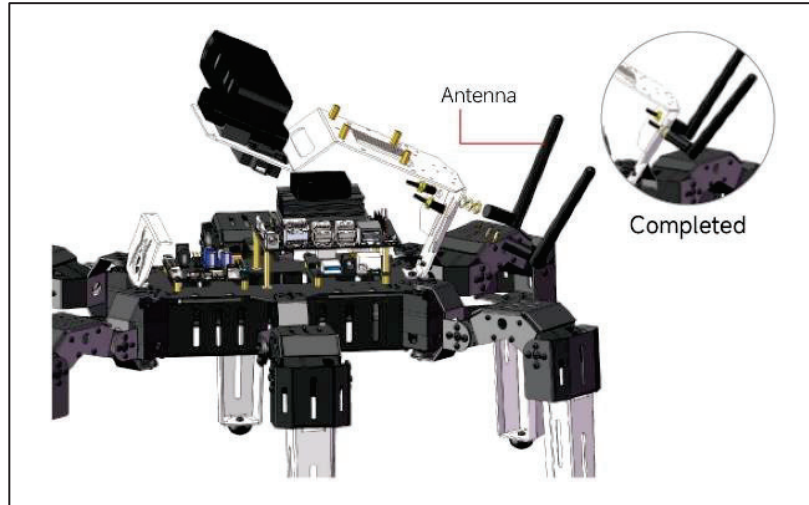
*Fuente:* Yahboom 2025

**Paso 8. Instalación del pilar de cobre del módulo de voz (módulo de voz opcional)****Ilustración 20**

*Fuente:* Yahboom 2025

## Paso 9: Instalación de la antena Jetson NANO

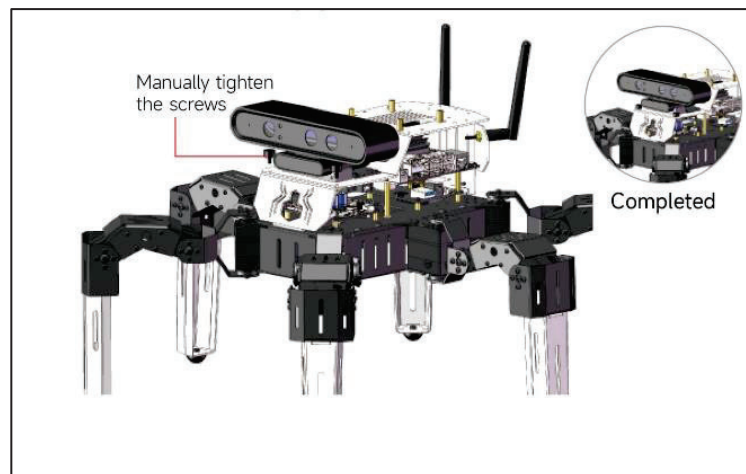
### Ilustración 21



*Fuente:* Yahboom 2025

## Paso 10. Se cierra la placa superior de muto.

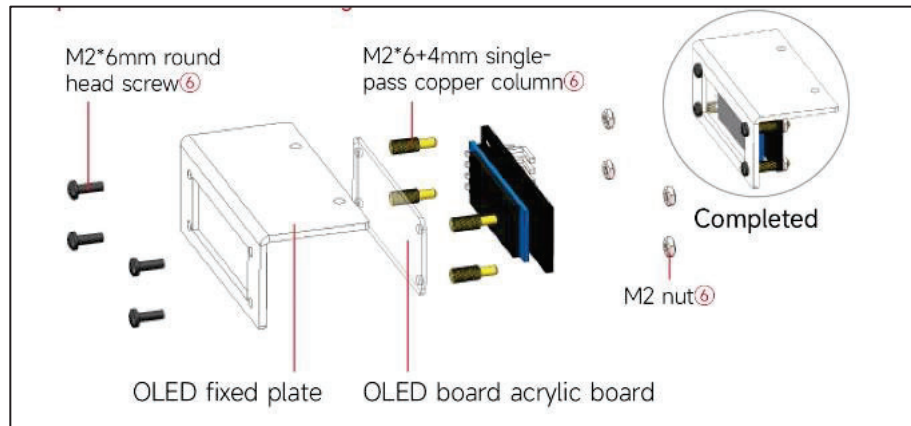
### Ilustración 22



*Fuente:* Yahboom 2025

## Paso 11. Instalación de la pantalla OLED

### Ilustración 23

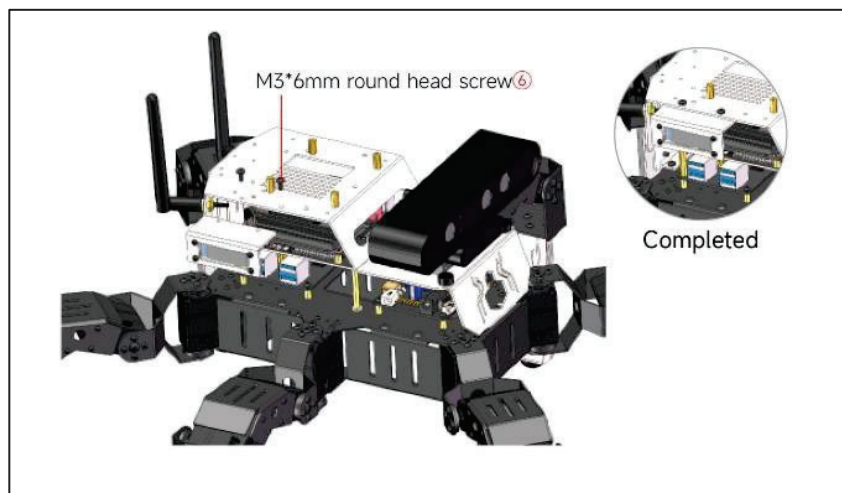


*Fuente:* Yahboom 2025

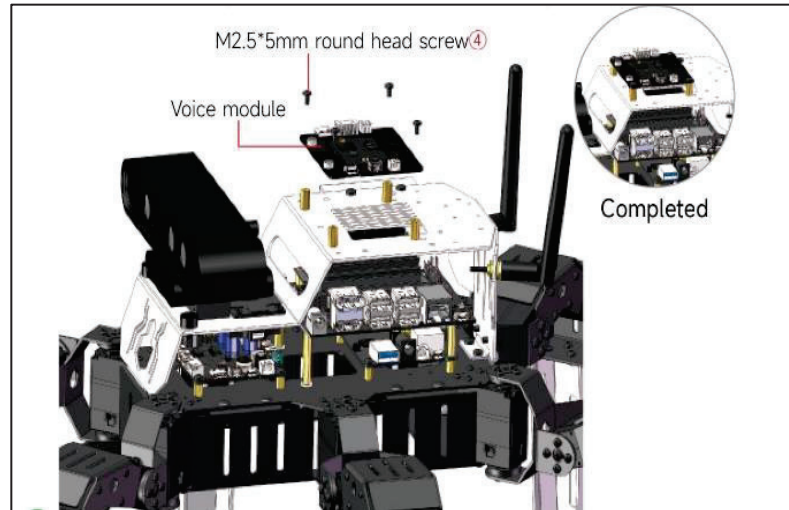
**Nota:** Después de la instalación, se conectan correctamente los cables OLED.

## Paso 12. Instalar OLED

### Ilustración 24



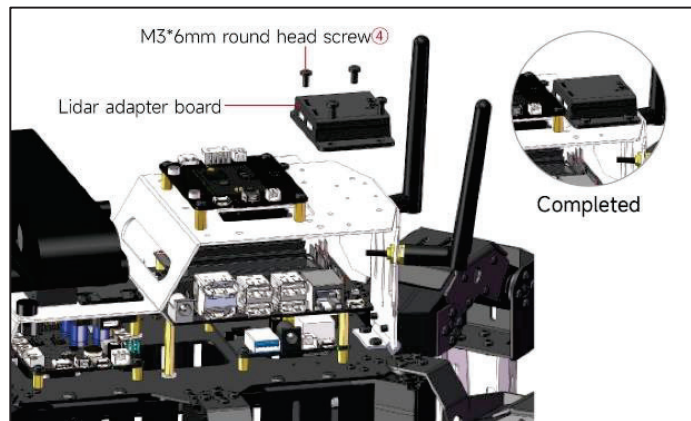
*Fuente:* Yahboom 2025

**Paso 13. Instalación del módulo de voz.****Ilustración 25**

*Fuente:* Yahboom 2025

**Paso 14. Se instala Lidar YDLIDAR 4ROS.****Ilustración 26:**

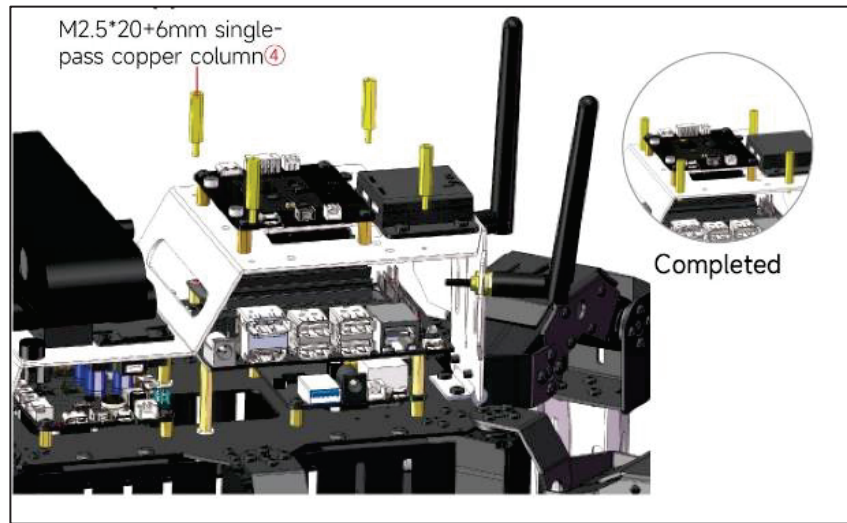
*a) Se debe instalar la placa adaptadora de Lidar.*



*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 27:**

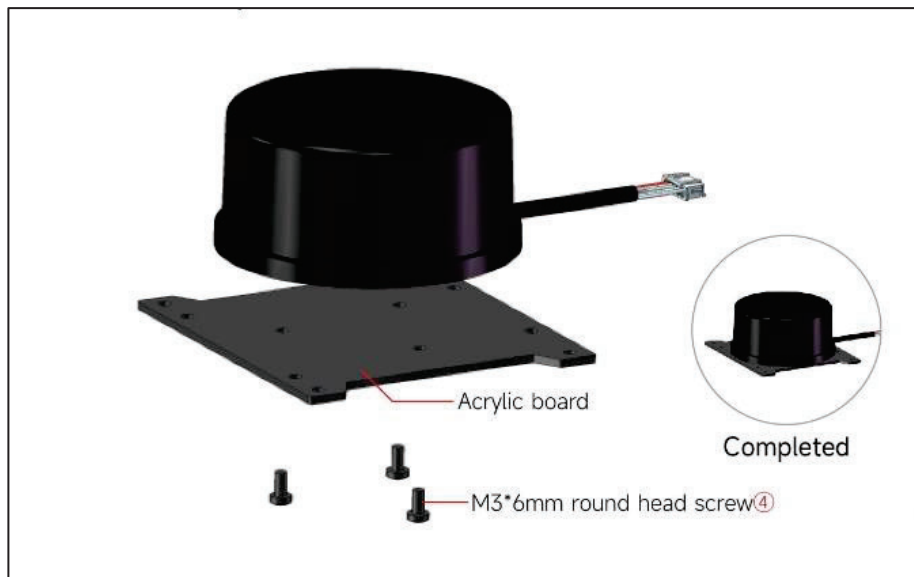
*b) Se instala el pilar de cobre.*



*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 28:**

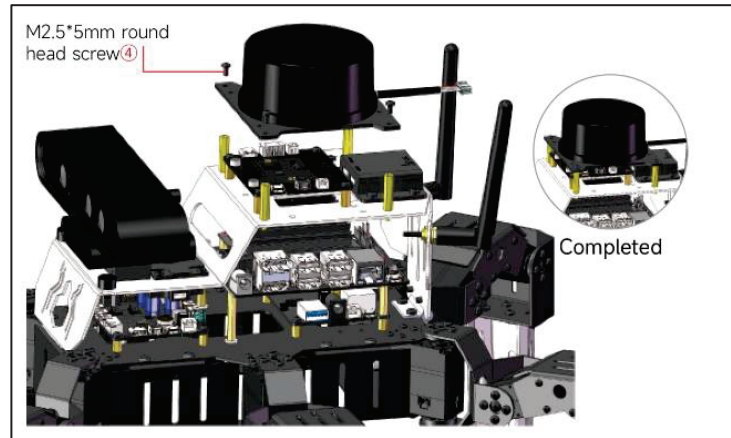
*c) Se instala la placa de acrílico en el Lidar 4ROS.*



*Fuente:* Yahboom 2025

## Ilustración 29

*d) Se instala el Lidar 4ROS.*

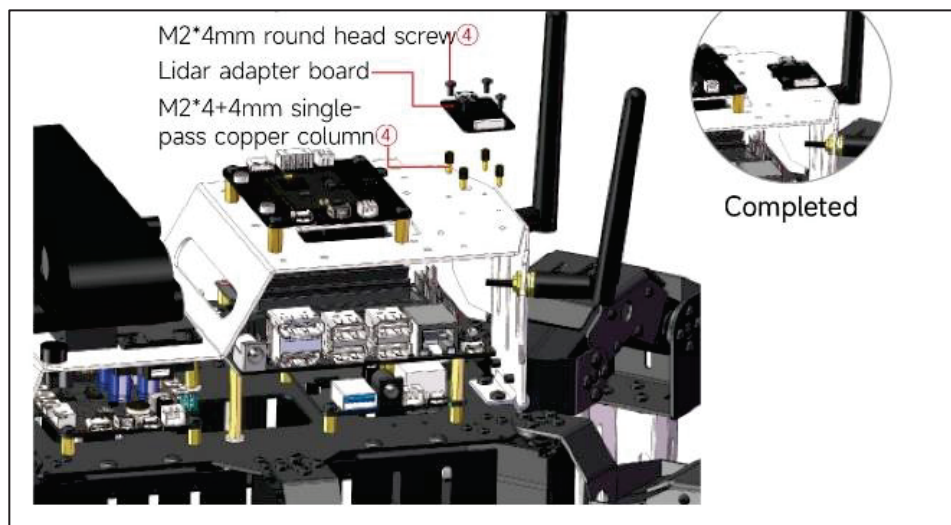


*Fuente:* Yahboom 2025

**Paso 15.** Se Instala lidar A1

## Ilustración 30:

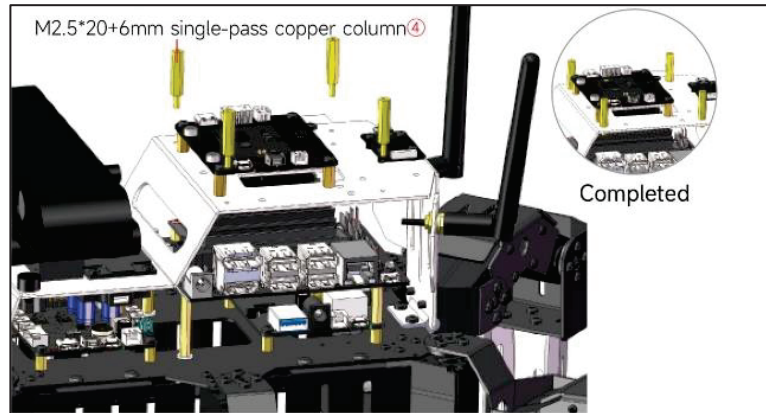
*a) Se instala la placa adaptadora de Lidar.*



*Fuente:* Yahboom 2025

### Ilustración 31

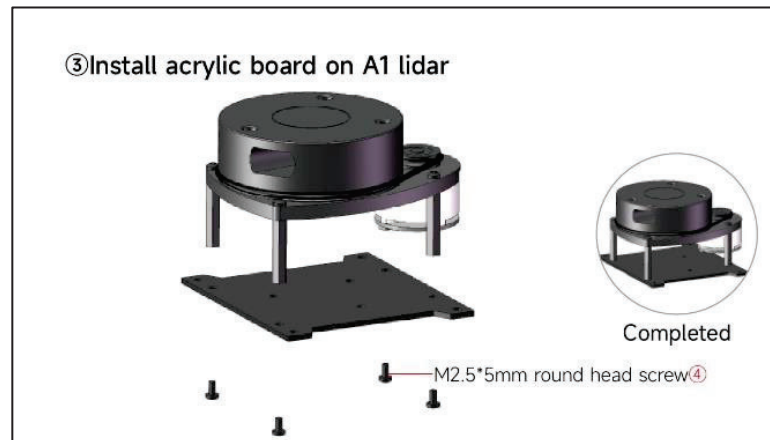
*b) Se instala el pilar de cobre*



*Fuente:* Yahboom 2025

### Ilustración 32

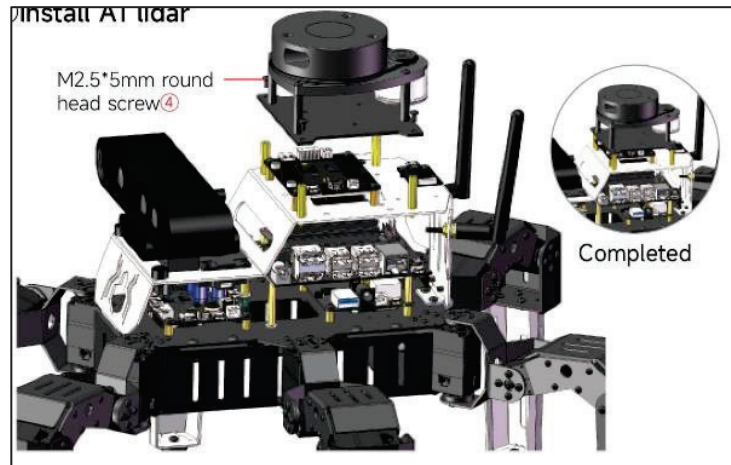
*c) Se instala la placa de acrílico en el lidar A1.*



*Fuente:* Yahboom 2025

**Ilustración 33:**

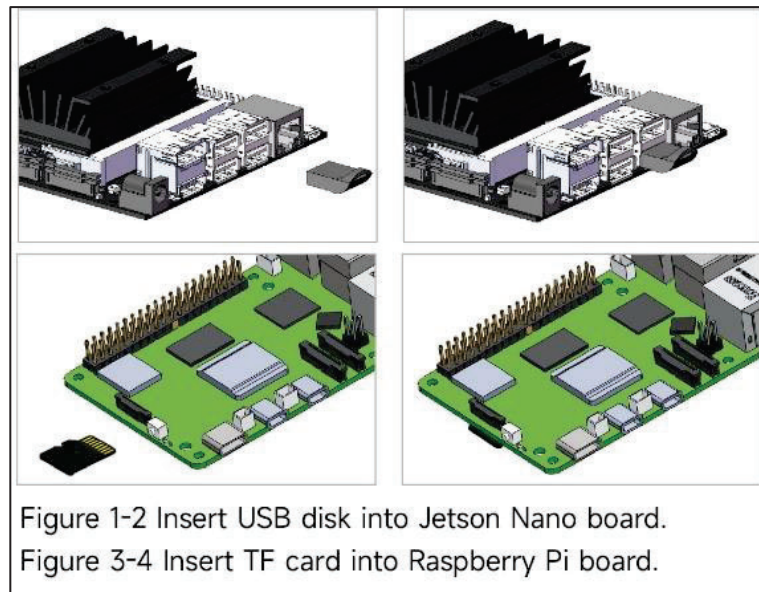
*d) Instalación del lidar A1.*



*Fuente:* Yahboom 2025

**Paso 16:** Se instala la memoria USB/tarjeta TF

**Ilustración 34**

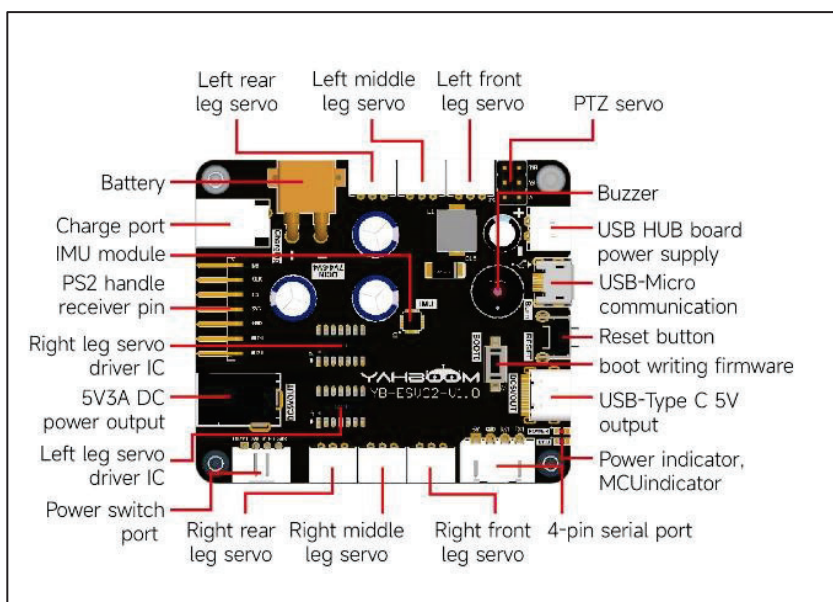


*Fuente:* Yahboom 2025

## Paso 17: Descripción de la interfaz de la placa de expansión

### Ilustración 35

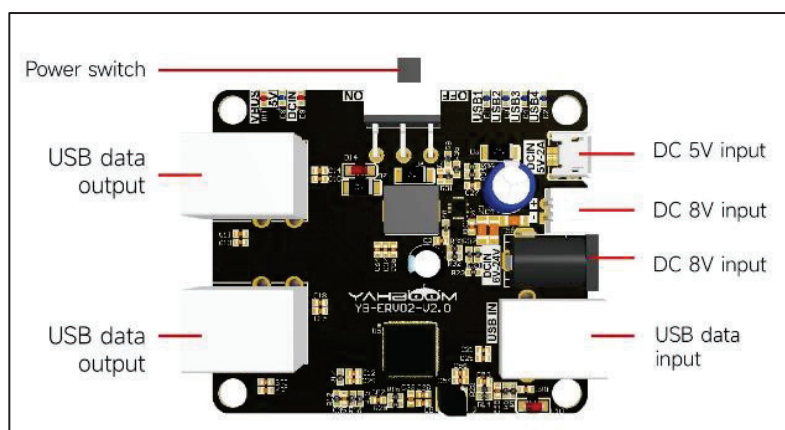
#### a). Placa de expansión para robot Muto



*Fuente:* Yahboom 2025

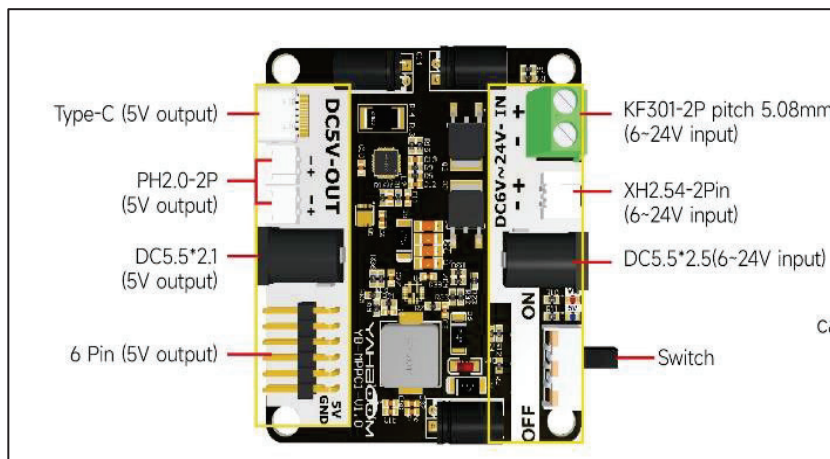
### Ilustración 36:

#### b) Placa de expansión USB HUB.



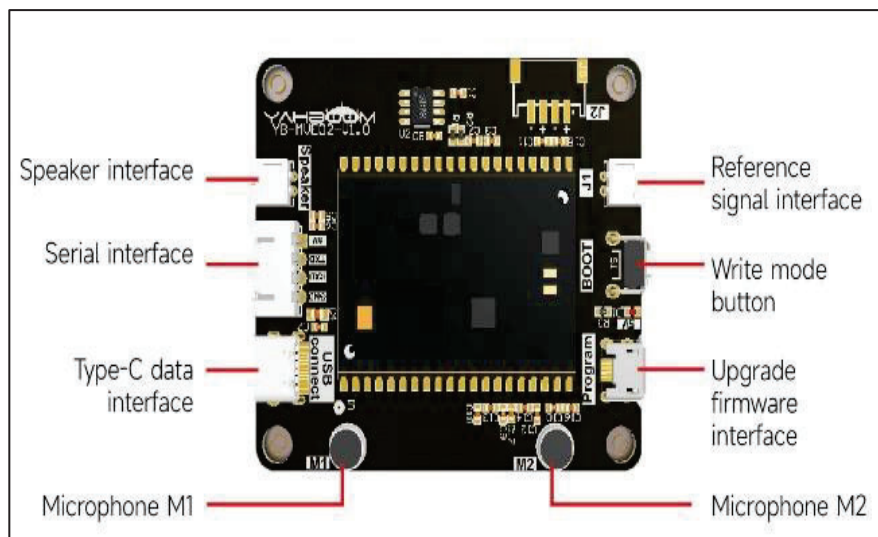
*Fuente:* Yahboom 2025

Ilustración 37:

c) *Placa de expansión de fuente de alimentación.*

Fuente: Yahboom 2025

Ilustración 38

d) *Módulo de interacción por voz.*

Fuente: Yahboom 2025

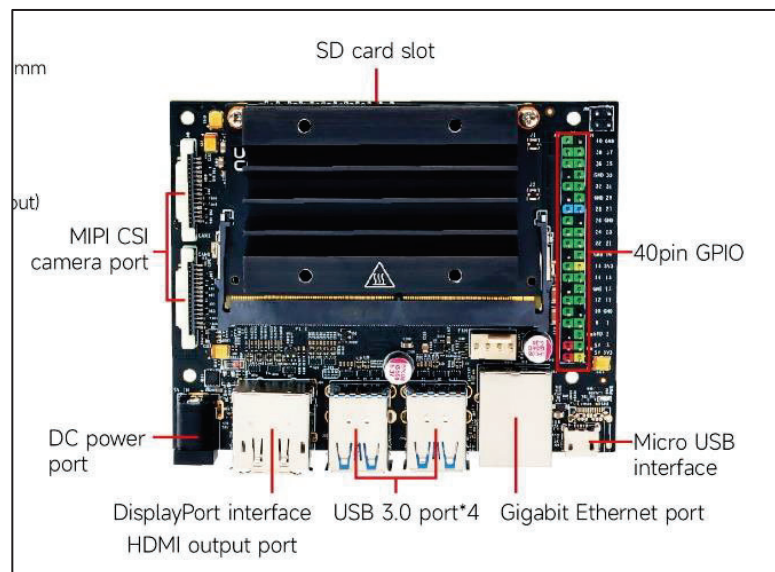
### Ilustración 39

#### e) Instalación del GMS



B) Interfaz de la placa JETSON NANO de 4GB.

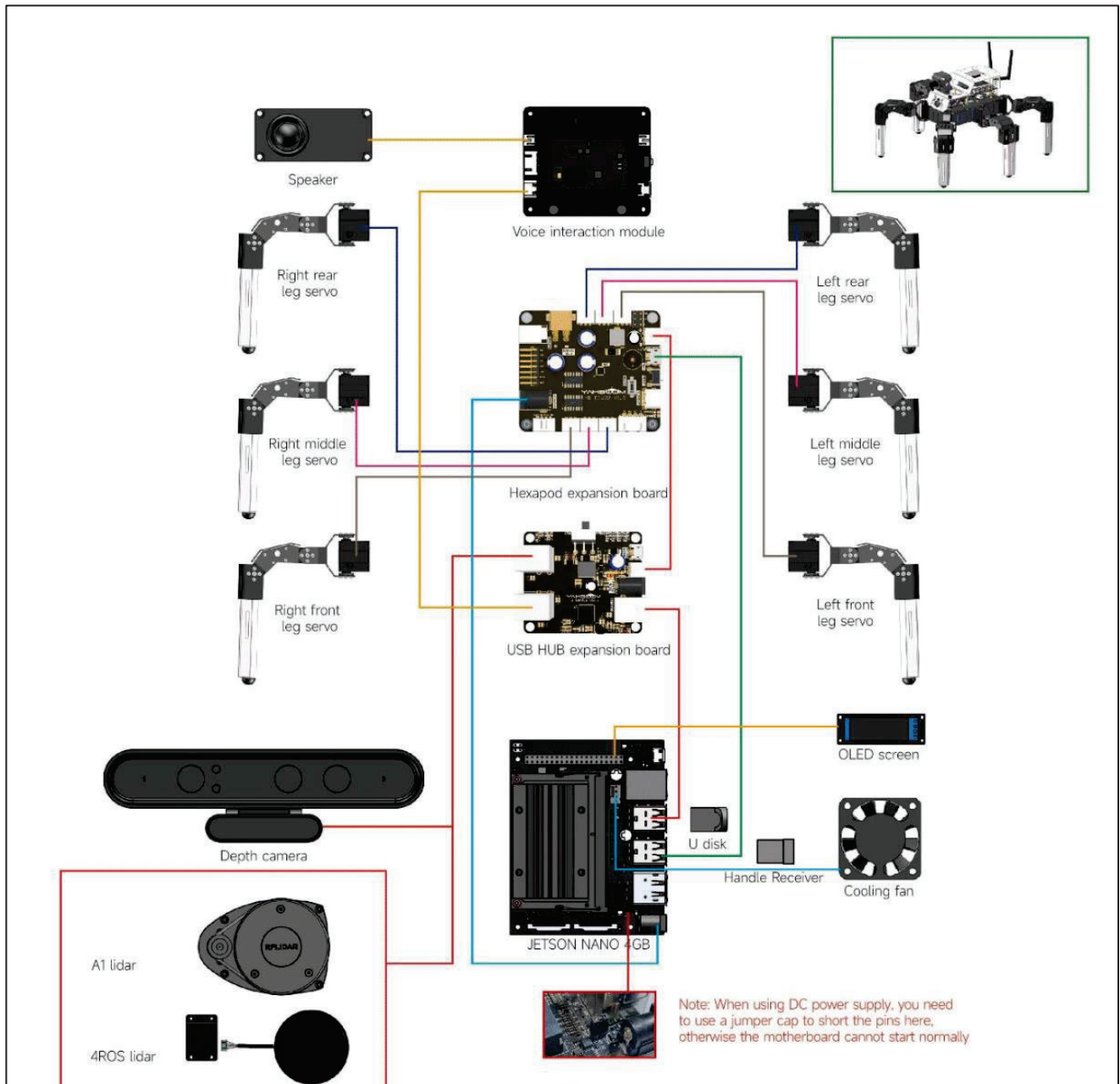
### Ilustración 40



*Fuente:* Yahboom 2025

## C) Diagrama de conexión de la versión Jetson NANO.

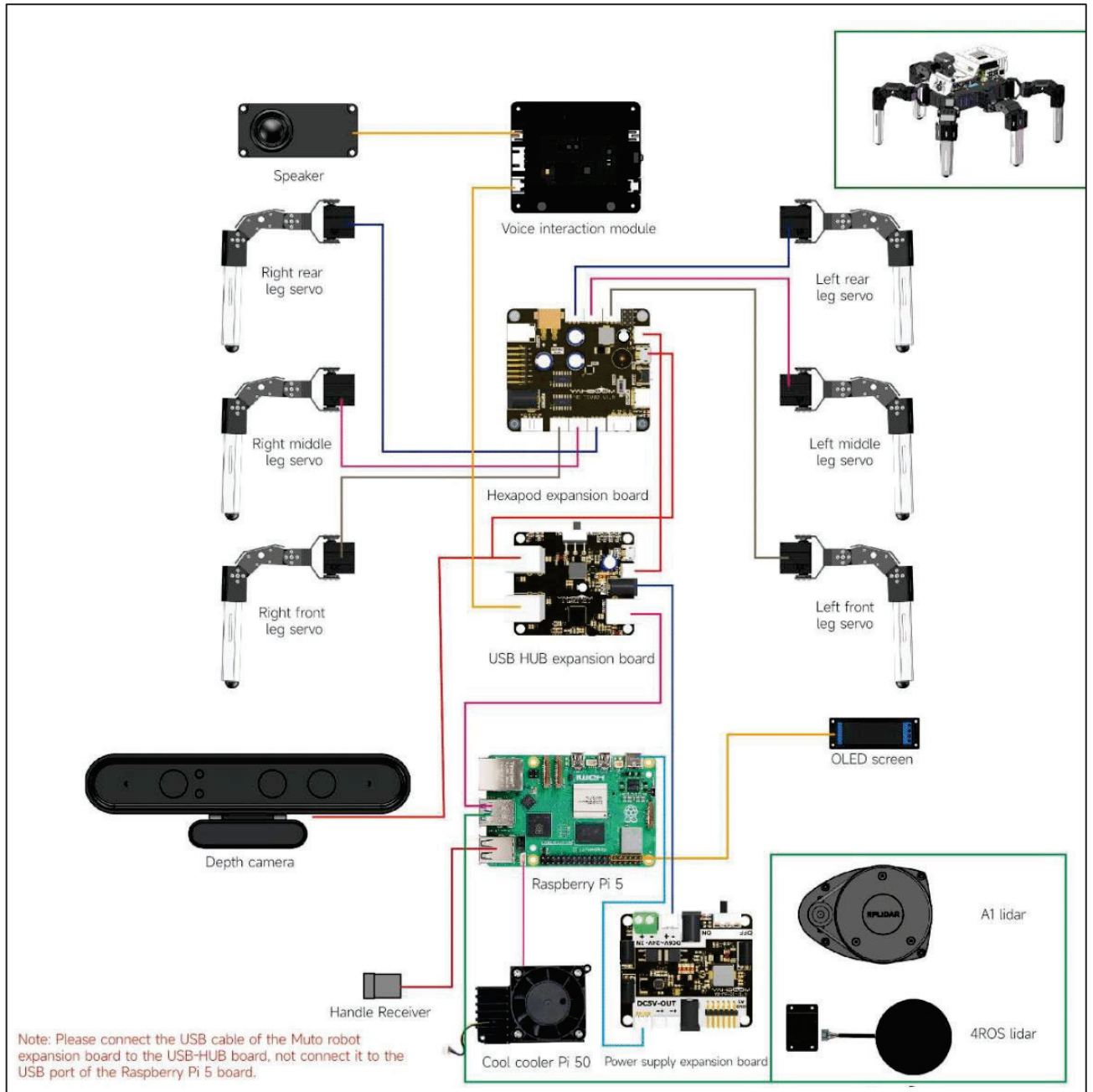
Ilustración 41



*Fuente:* Yahboom 2025

## D) Diagrama de conexión de la versión Raspberry Pi.

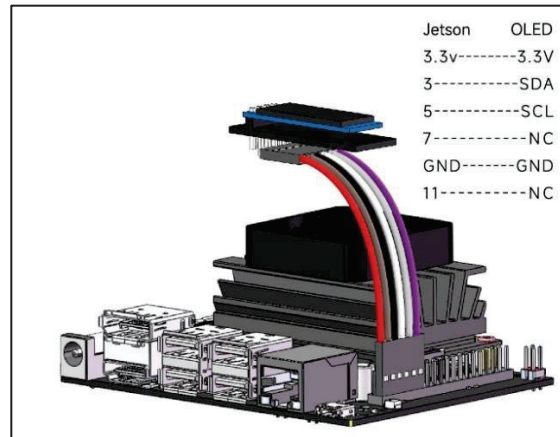
Ilustración 42



E) Diagrama de cableado del módulo OLED.

1. Para la versión Jetson NANO

**Ilustración 43**



*Fuente:* Yahboom 2025

**Nota:** Se debe conectar la placa OLED Jetson correctamente, como se muestra a continuación

F) Instrucciones de conexión del receptor.

**Ilustración 44**

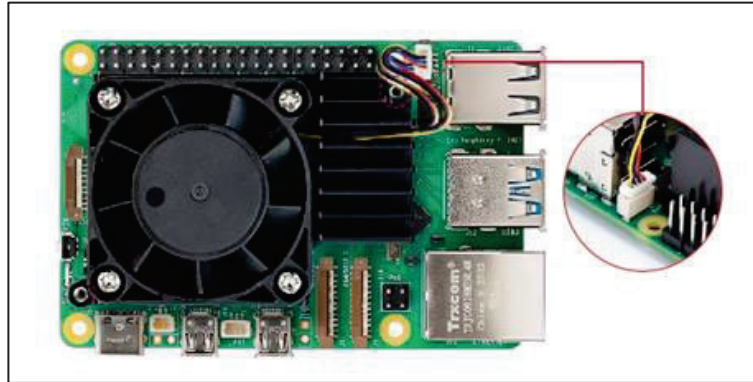


*Fuente:* Yahboom 2025

**Nota:** Se debe insertar el receptor de mango USB en el USB de la placa.

### G) Instrucciones de cableado del enfriador Pi 50.

#### Ilustración 45



*Fuente:* Yahboom 2025

### H) Instrucciones para la Carga

- a) Se conecta el cargador al toma corriente y la luz indicadora del cargador será verde.

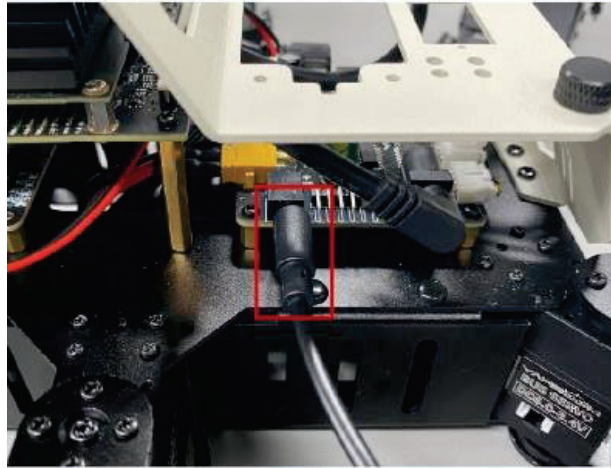
Como se muestra a continuación.

#### Ilustración 46



*Fuente:* Yahboom 2025

- b) Apagar el interruptor de alimentación del robot. Luego, insertar el cargador en el puerto de carga en la placa de expansión. Como se muestra a continuación.

**Ilustración 47**

*Fuente:* Yahboom 2025

c) Cuando se está cargando, la luz indicadora del cargador es roja. Como se muestra a continuación.

**Ilustración 48**

*Fuente:* Yahboom 2025

**Nota:** Cuando esté completamente cargado, la luz del cargador se volverá verde. Se debe desconectar el cargador y colocarlo en un área segura.

### **I) Se Inicia el robot**

a) El disco U o la tarjeta TF proporcionada por Yahboom ha sido escrita en el archivo de imagen del sistema específico del robot. Se puede usar directamente.

b) Después se completa todo el cableado de acuerdo con el diagrama de cableado.

c) Se abre el interruptor de encendido y se podrá ver la luz verde en el interruptor.

d) El robot Muto se levantará, se debe esperar pacientemente por 2 minutos, cuando se escuche el pitido del zumbador tres veces, significa que el sistema se ha iniciado correctamente.

e) Al mismo tiempo, se puede ver que muestra información en el OLED.

**Nota: Sistema Jerson NANO: nombre de usuario: jetson contraseña: yahboom.**

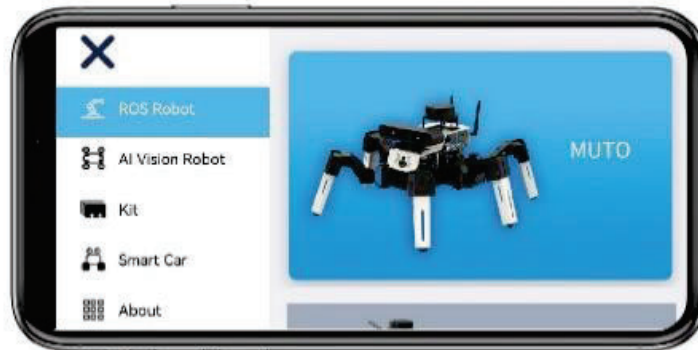
### **J) Conectar el robot Muto**

Si está utilizando el archivo de imagen del sistema proporcionado por Yahboom, después de que el robot inicie normalmente, emitirá una señal de WIFI hotspot [Muto -WIFI], la contraseña es 12345678.

Puede hacer que el teléfono se conecte a este WIFI para formar una red de área local entre ellos. O hacer que el robot y el teléfono se conecten a la misma red.

1. Se debe seleccionar el dispositivo: Abrir la aplicación [YahboomRobot] y seleccionar el [Robot ROS]--[MUTO].

Ilustración 49



*Fuente:* Yahboom 2025

2. Rellena la dirección IP que se muestra en el OLED del robot, como se muestra a continuación. Puerto: 6000, y video: 6500. Haz clic en [conectar] después de que la conexión sea exitosa, se saltará automáticamente a la interfaz de control principal

Ilustración 50: J) Conectar el robot Muto



*Fuente:* Yahboom 2025

**Nota:** Antes de conectar el dispositivo, es necesario confirmar que el teléfono esté conectado a la señal del punto de acceso del robot, o que el teléfono y el robot estén conectados al mismo router. Y el programa de control de la APP ya ha sido iniciado.

## K) Introducción a la función de la APP

### 1. Control remoto

#### Ilustración 51



*Fuente:* Yahboom 2025

a) Se debe hacer clic en el ícono [control remoto], puede ver la siguiente interfaz.

#### Ilustración 52



*Fuente:* Yahboom 2025

**Parte 1. Velocidad:** Control de la velocidad de movimiento del robot.

**Parte 2. Altura:** Controla la altura del cuerpo del robot.

**Parte 3. Ancho de paso:** Controla el ancho del paso del robot al caminar.

**Parte 4. Método de control:**

a) **Lado izquierdo:** Control por botón, arriba para avanzar, abajo para retroceder, izquierda para trasladarse a la izquierda, botón del medio a la derecha para detenerse.

b) **Lado derecho:** Control por joystick, arriba para avanzar, abajo para retroceder, izquierda para rotación a la izquierda, derecha para rotación a la derecha, botón del medio para detenerse.

**Parte 5. Cabeza arriba / Abajo:** Controla al robot para que suba o baje la cabeza.

**Parte 6. Rotación izquierda/derecha:** Controla al robot para que gire a la izquierda/derecha.

## 2.Rendimiento.

a) Se debe hacer clic en el ícono de [ Rendimiento], se podrá ver la siguiente interfaz.

**Ilustración 53**



*Fuente:* Yahboom 2025

Ilustración 54



*Fuente:* Yahboom 2025

**Parte 1:** Las ocho acciones preestablecidas se ejecutan una vez por clic.

**Parte 2: Botón de reinicio:** el robot regresa a su postura predeterminada.

### 3. Control FPV

a) Se hace clic en el ícono [FPV Control], y se puede observar la siguiente interfaz.

Ilustración 55



*Fuente:* Yahboom 2025

Ilustración 56



*Fuente:* Yahboom 2025

**Parte 1. Ocultar:** botón oculto, mantiene la pantalla completa.

**Parte 2. Rocker:** Control de la posición del movimiento del robot.

**Parte 3. Servomotor X/Y:** Control de la cámara PTZ.

#### 4. Monitoreo de datos

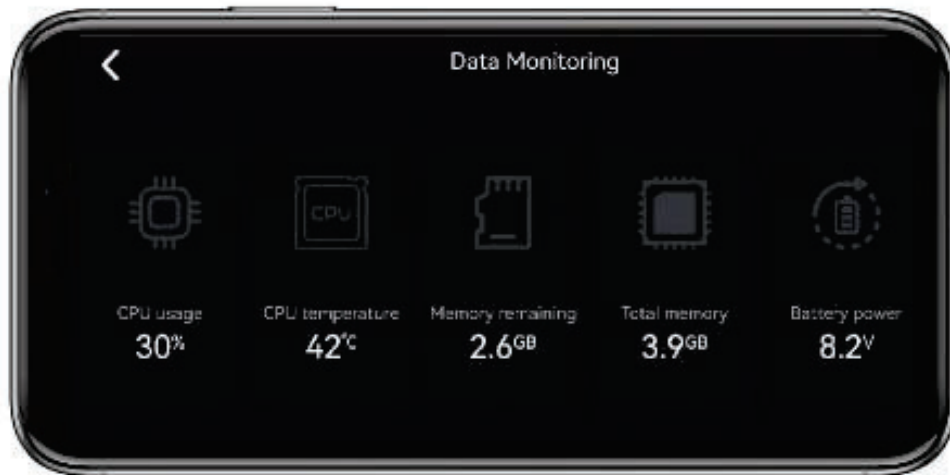
Ilustración 57



*Fuente:* Yahboom 2025

a) Se hace clic en el ícono de [Monitoreo de Datos], donde se puede observar la siguiente interfaz.

**Ilustración 58**



*Fuente:* Yahboom 2025

**Parte 1. Uso de CPU:** Muestra el uso de la CPU de la placa base.

**Parte 2. Temperatura de CPU:** Muestra la temperatura de la CPU de la placa base.

**Parte 3. Memoria restante:** Muestra el espacio de memoria restante en la placa base.

**Parte 4. Memoria total:** Muestra la cantidad total de memoria en la placa base.

**Parte 5. Potencia de la batería:** Muestra el voltaje de la batería del robot.

## **5. Calibración de robots**

**Nota:** El robot ha sido calibrado en la fábrica. En general, no requiere calibración sin embargo es conveniente seguir los siguientes pasos

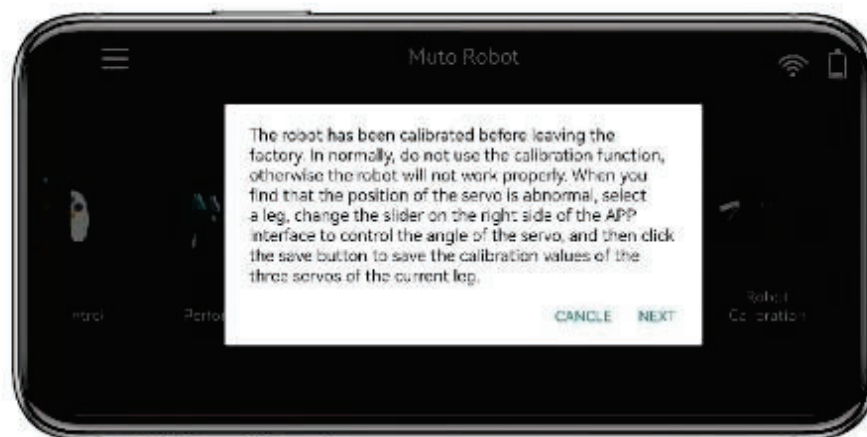
### Ilustración 59



*Fuente:* Yahboom 2025

Antes de ingresar a la interfaz de calibración del robot, la APP mostrará el siguiente contenido, por lo que hay que hacer clic en [Siguiente]

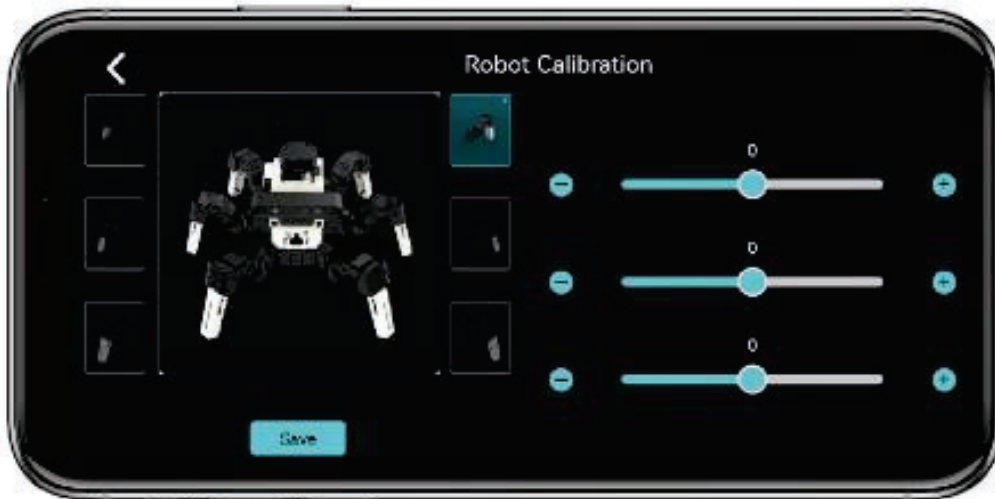
### Ilustración 60



*Fuente:* Yahboom 2025

Se debe hacer clic en el ícono de [Calibración de Robots], donde se podrá ver la siguiente interfaz.

### Ilustración 61



*Fuente:* Yahboom 2025

b) Como se muestra en la figura anterior, los seis botones a la izquierda corresponden a las seis patas del robot. Si el ícono está iluminado, indica que la pata está seleccionada. Se hace clic en el botón [guardar] para guardar los datos actuales del servo. Las tres barras deslizantes a la derecha pueden controlar los tres motores servo de la pata seleccionada.

#### **c) Pasos para la calibración del robot:**

1) Se coloca el robot mudo sobre una superficie plana, frente a al usuario, y se verifica si las seis patas están en el suelo. Si una de las patas no toca el suelo, se necesitará calibrar el servo en esta pata.

2) Se selecciona el ícono de la pata correspondiente y hace clic en el botón [guardar] para borrar los datos guardados previamente.

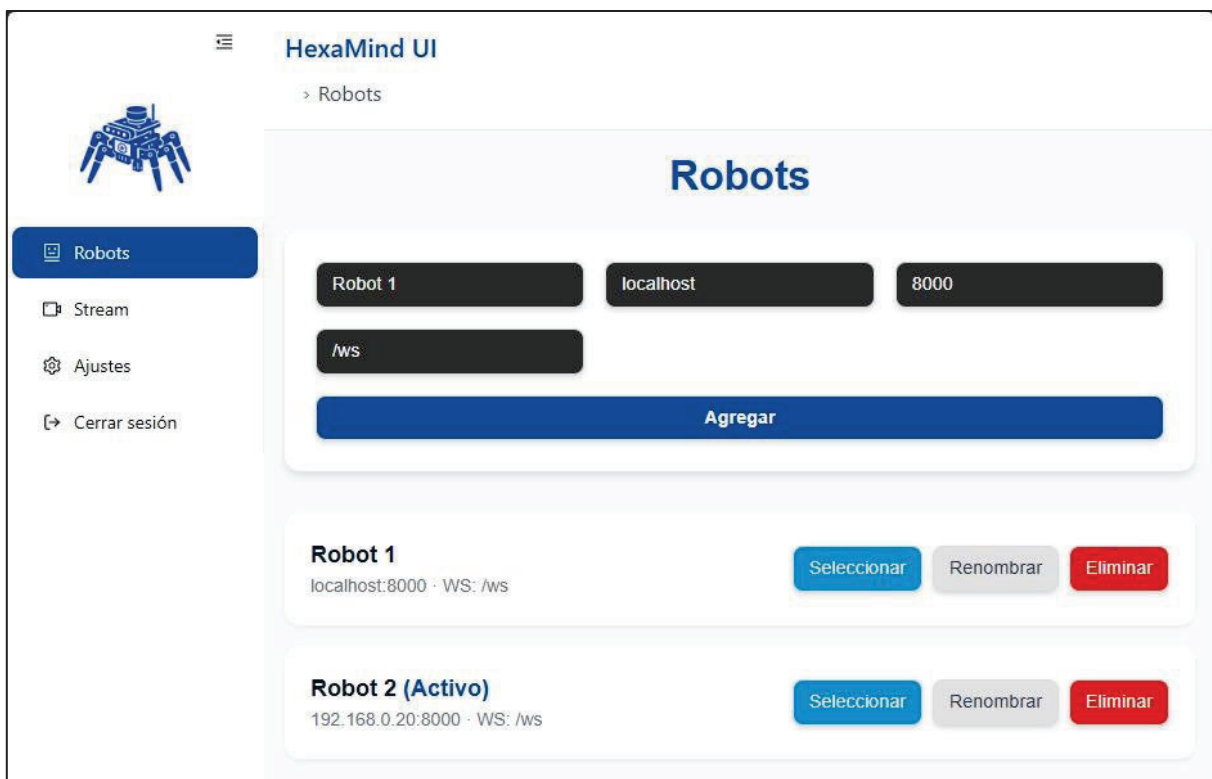
3) Se ajustan los tres deslizadores a la derecha hasta que la pata toque el suelo.

4) Se hace clic en el botón [guardar] nuevamente para guardar los datos actuales del servo.

## 5.3 IMPLEMENTACIÓN

Se creó una aplicación denominada HexaMind UI para el manejo del Robot Jetson NANO, la cual se muestra a continuación:

**Ilustración 62**



*Fuente:* Elaboración propia. (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

Así mismo se seleccionó como la unidad central de procesamiento del prototipo debido a su capacidad de ejecutar algoritmos de inteligencia artificial y visión computacional en tiempo real, con un consumo energético reducido en comparación con sistemas más complejos.

Su implementación resultó esencial para integrar las funciones de reconocimiento inteligente, navegación autónoma y comunicación del robot en entornos de difícil acceso y como prueba de concepto.

### Ilustración 63

```

src > robots > RobotsContext.tsx > ...
47 export function RobotsProvider({ children }: { children: React.ReactNode }) {
48   const add: Ctx["add"] = async (robot) => {
49     };
50
51   const update: Ctx["update"] = async (id, patch) => {
52     await db.robots.update(id, { ...patch, updatedAt: Date.now() });
53     setRobots(await db.robots.toArray());
54   };
55
56   const remove: Ctx["remove"] = async (id) => {
57     await db.robots.delete(id);
58     setRobots(await db.robots.toArray());
59     if (activeId === id) await select(null);
60   };
61
62   const select: Ctx["select"] = async (id) => {
63     setActiveId(id);
64     await setActiveRobotId(id);
65   };
66 }

```

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS

VITE v7.1.2 ready in 763 ms

→ Local: http://localhost:5173/  
 → Network: use --host to expose  
 → press h + enter to show help

**Fuente:** Elaboración propia. (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

La primera fase de la implementación consistió en la configuración del entorno de desarrollo, donde se instaló el sistema operativo Linux Ubuntu, “base” sobre la que funciona el Jetson NANO, además, permite instalar controladores y programas necesarios para ejecutar algoritmos de IA y visión por computadora y/o móvil, así mismo este ofrece compatibilidad con herramientas como Python, ROS (Robot Operating System) y OpenCV, fundamentales en robótica, y los paquetes específicos de NVIDIA, incluyendo CUDA (Arquitectura de Dispositivo Unificado de Cómputo), cuDNN (Biblioteca de Redes Neuronales Profundas CUDA) y TensorRT (Framework de optimización e inferencia de modelos de IA), que optimizan el rendimiento de modelos de aprendizaje profundo.

Esta configuración permitió la ejecución eficiente de redes neuronales convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés: Convolutional Neural Networks). aplicadas al reconocimiento de patrones, detección de obstáculos y análisis del entorno.

En la segunda fase, se procedió a la integración de los sensores y cámaras con el Jetson NANO. Para ello, se emplearon librerías como OpenCV y ROS (Robot Operating System), lo que facilitó la comunicación entre los módulos de hardware y el software de control. Las cámaras se conectaron mediante interfaces CSI, (Camera Serial Interface), es un estándar de conexión para cámaras desarrollado por MIPI Alliance, además se usa para conectar cámaras de alta velocidad directamente a placas de desarrollo como lo es la del Jetson Nano.

Así mismo, esta interfaz posee ventajas como, por ejemplo, mayor velocidad de transmisión de datos que un puerto USB convencional, latencia baja (ideal para visión artificial en tiempo real) y consume menos energía, además, permite conectar una cámara CSI para capturar imágenes o video que serán procesados por la IA del robot.

Por otro lado, la interfaz USB, (Universal Serial Bus), es el estándar universal de conexión para periféricos, permite conectar sensores, cámaras web, almacenamiento externo, controladores y otros dispositivos, de igual manera tiene sus ventajas, como son la compatibilidad amplia ya que casi cualquier dispositivo tiene USB, es fácil de usar e integrar y, además, sirve para conectar cámaras externas, sensores adicionales, módulos de comunicación o dispositivos de entrada/salida.

En la tercera fase, se procedió a la integración de los sensores ultrasónicos y de proximidad, estos se integraron a través de pines GPIO e I2C, los primeros, pines GPIO (General Purpose Input/Output), que significa Entradas/Salidas de Propósito General, están

presentes en placas electrónicas como del Jetson NANO, permitiendo enviar o recibir señales digitales (0 y 1), igualmente, se usan para encender/apagar LEDs, leer botones o interruptores, controlar motores o relés, conectar sensores digitales simples, entre otras funciones, y presentan ciertas ventajas gracias a su versatilidad, ya que cada pin puede configurarse como entrada (leer datos) o salida (enviar señales).

El I2C (Inter-Integrated Circuit), es un protocolo de comunicación serie creado por Philips, permite que varios dispositivos se comuniquen entre sí usando solo dos cables:

1-SDA (Serial Data Line) → línea de datos.

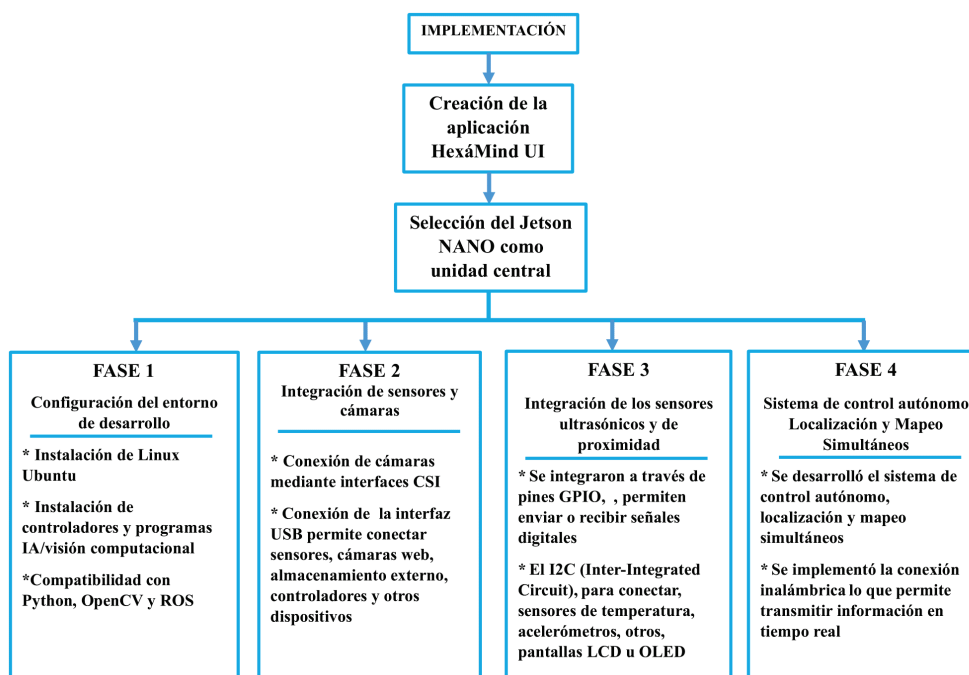
2-SCL (Serial Clock Line) → línea de reloj.

Se usa para conectar, sensores (temperatura, acelerómetros, brújulas digitales, otros), pantallas LCD u OLED, módulos de expansión, sus ventajas son que con solo dos pines se pueden conectar muchos dispositivos en la misma línea.

Posteriormente, en la cuarta fase se desarrolló el sistema de control autónomo, basado en algoritmos de navegación y mapeo (SLAM, Simultaneous Localization and Mapping / Localización y Mapeo Simultáneos), que permiten al robot generar representaciones del entorno y desplazarse de forma segura evitando obstáculos. El Jetson NANO actúa como el núcleo de procesamiento, tomando decisiones en tiempo real a partir de los datos recopilados por los sensores.

Finalmente, se implementó la conexión inalámbrica mediante un módulo Wifi, lo que permite transmitir información en tiempo real hacia un centro de monitoreo externo, esta función asegura la supervisión constante del robot y posibilita la intervención manual en caso de contingencias.

Cuadro 1

*Diagrama de flujo*

**Fuente:** Elaboración propia (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

En síntesis, la implementación del Jetson NANO dotó al prototipo de la capacidad de procesar datos complejos, ejecutar modelos de IA y coordinar los subsistemas mecánicos y electrónicos, convirtiéndolo en el componente central que garantiza el funcionamiento autónomo y eficiente del robot como prueba de concepto en escenarios de difícil acceso para instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), La Benemérita Cruz Roja Costarricense y El Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. Todo lo antes dicho se puede observar en el siguiente cuadro

## 5.4 ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos constituye un componente esencial en el diseño y desarrollo de proyectos tecnológicos, ya que permite determinar la viabilidad económica y la sostenibilidad de la propuesta. En el caso del prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con inteligencia artificial para lugares de difícil acceso, como el Jetson NANO, resulta indispensable identificar los recursos financieros requeridos tanto en la fase de construcción como en la de implementación.

Es por ello que este análisis, no solo contempla el costo base de los componentes principales, como el módulo Jetson NANO, sensores y sistemas de locomoción, sino también los gastos asociados a alimentación eléctrica, almacenamiento, conectividad, mantenimiento preventivo y accesorios complementarios, en la siguiente ilustración 63-64, se pueden ver algunos de los elementos, el caparazón y el raspberry pi, que tuvieron un costo de ₡ 700 000 (Setecientos mil colones)

*Ilustración 64*

### *Lista de empaque*

	Chassis		USB HUB board
			OLED board
			OLED board accessory pack ⑥
	OLED fixed plate		OLED board acrylic board
	USB HUB board accessory pack③		Charger
	Battery pack		PS2 handle+AAA battery
	Astra Pro depth camera		Depth camera mounting bracket
	⑤ screw pack		XH2.54 cable
	USB3.0 male-male		Micro USB cable (right-bend)
	OLED connection cable		Manual
	Screwdriver		Velcro

Ilustración 65

*Accesorios de Raspberry Pi*







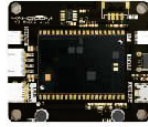



	Raspberry Pi 5 (optional)		TF card
	Cool cooler Pi 50		Card reader
	Muto Raspberry Pi accessory pack <sup>②</sup>		RPi 5 power supply expansion board pack

Ilustración 66

*Paquete de interacción por voz (Voice interaction package)*

	Voice interaction module (EN)		Type-c data cable
	Voice Screw Pack		Speaker

## Ilustración 67

1) Jetson Nano 4GB Accessories, 2) Slam A1 Lidar , 3) YDLIDAR 4ROS Lidar  
 (Complementos de Jetson Nano 4GB, Lidar Slam A1, Lidar YDLIDAR 4ROS)





1

	Jetson NANO 4GB (optional)		U disk
	Muto NANO 4GB accessory pack①		4010 fan
	M.2 antennas		DC power cable

2

	SLAM A1 Lidar		Micro USB data cable (right bend)
	④ screw pack		

3

	4ROS Lidar		Lidar adapter board
	Type-c data cable		④ screw pack

**Fuente:** Yahboom 2025

Lo que se puede observar en las ilustraciones 65 y 66 tuvo un costo de ¢ 230 000 (Doscientos treinta mil colones). Por otro lado, lo que es el Jetson y los accesorios tuvieron un costo de ¢196 500 ( Ciento noventa mil quinientos colones) y el Set de Accesorios interacción de Voz, ¢44 200 (Cuarenta y cuatro mil doscientos colones) , para un total de ¢ 1 170 700 ( Un millón ciento setenta mil setecientos colones).



























De esta manera, el análisis de costos no se limita a presentar los valores monetarios de cada elemento, sino que constituye una herramienta de planificación que orienta la toma de decisiones y la optimización de recursos. Asimismo, permite prever posibles sobrecostos derivados de factores externos como importaciones, impuestos o disponibilidad local de componentes, aspectos que pueden influir directamente en la ejecución del proyecto.

En síntesis, este apartado busca establecer una visión clara y estructurada de la inversión necesaria para garantizar el adecuado funcionamiento del prototipo y su contribución en el fortalecimiento de la atención a emergencias en contextos de difícil acceso.

Cabe destacar que esto es solo un prototipo, teniendo en cuenta que es un modelo preliminar o versión inicial de un dispositivo, que se construyó con el objetivo de probar, validar y perfeccionar una idea antes de su producción o implementación definitiva, se puede decir entonces que esta no es la versión final sino un proyecto experimental que sirve para evaluar un diseño y el desempeño de este en el entorno.

Cuadro 2

## Costos del Jetson Nano

Componentes	Imágenes	Costo en ₡
Lista de empaques	 Chassis  USB HUB board  OLED board  OLED board accessory pack <sup>④</sup>	₡700 000
Accesorios	 OLED fixed plate  OLED board acrylic board  USB HUB board accessory pack <sup>③</sup>  Charger  Battery pack  PS2 handle+ AAA battery  Astra Pro depth camera  Depth camera mounting bracket  ⑤ screw pack  XH2.54 cable  USB3.0 male-male  Micro USB cable (right-bend)  OLED connection cable  Manual  Screwdriver  Velcro	₡196 500
Accesorios interacción de voz		
Accesorios de Raspberry PI	 Raspberry Pi 5 (optional)  TF card  Cool cooler Pi 50  Card reader  Muto Raspberry Pi accessory pack <sup>②</sup>  RPI 5 power supply expansion board pack	₡44 200
Componentes	Imágenes	Costo en ₡
Paquete de interacción de voz		
1) Jetson NANO 4GB accesorios		₡ 230 000



## 5.5 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

El prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con inteligencia artificial que requiere un conjunto de condiciones mínimas de funcionamiento, que, además, deben ser garantizadas con el fin de asegurar su rendimiento óptimo, prolongar su vida útil y reducir riesgos de fallas.

Dichas condiciones contemplan aspectos eléctricos, de mantenimiento preventivo, revisiones periódicas de hardware y software, así como la correcta gestión de las conexiones básicas. Asimismo, es necesario tener en cuenta diferentes puntos que se exponen a continuación:

### **1. Alimentación eléctrica y niveles de voltaje**

El dispositivo debe ser operado con un suministro eléctrico estable, respetando los rangos de voltaje recomendados por el fabricante (5 V/4 A en el caso del Jetson Nano y tensiones específicas para motores y sensores). Se recomienda el uso de fuentes reguladas y protectores contra sobrecarga para evitar daños por picos eléctricos.

### **2. Mantenimiento preventivo**

Se debe realizar una revisión mensual del sistema, que incluya limpieza de ventiladores y disipadores para evitar sobrecalentamiento, comprobación del estado de las baterías recargables y verificación del correcto funcionamiento de los sensores. El mantenimiento preventivo garantiza que los componentes críticos mantengan su desempeño en condiciones de operación exigentes.

### **3. Gestión del almacenamiento y software**

Se debe revisar periódicamente el espacio disponible en la tarjeta micro-SD o unidad de almacenamiento, ya que la acumulación de datos puede comprometer el rendimiento del sistema. Asimismo, se recomienda mantener actualizado el sistema operativo Linux Ubuntu y los paquetes específicos de NVIDIA (CUDA, cuDNN y TensorRT), con el fin de asegurar la compatibilidad de los algoritmos de inteligencia artificial y evitar errores en el procesamiento de datos.

#### **4. Conexiones básicas**

Es fundamental garantizar la correcta conexión de los puertos CSI y USB para cámaras y sensores, así como de las interfaces GPIO e I<sup>2</sup>C empleadas en la integración de módulos adicionales. Se recomienda verificar periódicamente el estado de los conectores para prevenir falsos contactos o fallos de comunicación que afecten la operación del robot.

#### **5. Condiciones ambientales de operación**

El prototipo debe funcionar en ambientes con temperaturas moderadas (10 °C – 35 °C), evitando la exposición a humedad, polvo excesivo o líquidos que puedan dañar los circuitos. De igual forma, se recomienda operar en superficies estables y revisar las condiciones del terreno antes de desplegar el robot en entornos de difícil acceso.

A continuación, se presenta una tabla con los aspectos claves que se deben tener en cuenta para garantizar el correcto funcionamiento del prototipo, se detallan las condiciones necesarias y la frecuencia recomendada de revisión para prevenir fallos y optimizar su rendimiento.

Tabla 6

*Condiciones de funcionamiento del prototipo*

Aspecto	Condición requerida	Frecuencia de revisión
<b>Alimentación eléctrica</b>	Uso de fuente regulada (5 V/4 A para Jetson Nano), evitar picos de voltaje, comprobar estado de la batería.	Antes de cada uso
<b>Mantenimiento preventivo</b>	Limpieza de ventiladores, disipadores y partes móviles para evitar sobrecalentamiento.	Mensual
<b>Sensores</b>	Verificación del estado físico (cámara, ultrasonido, LIDAR), limpieza de lentes y calibración.	Mensual o antes de cada despliegue
<b>Almacenamiento</b>	Revisión del espacio disponible en la micro-SD, eliminación de archivos temporales, respaldo de datos.	Quincenal
<b>Software</b>	Actualización del sistema operativo Linux Ubuntu y librerías de NVIDIA (CUDA, cuDNN, TensorRT).	Trimestral
<b>Conexiones básicas</b>	Verificación de integridad en puertos CSI, USB, GPIO e I <sup>2</sup> C para evitar falsos contactos.	Semanal
<b>Condiciones ambientales</b>	Operar en rango de temperatura 10 °C – 35 °C, evitando polvo, humedad y exposición a líquidos.	Permanente (durante operación)
<b>Registro de uso</b>	Llevar control de horas de operación y sesiones para programar mantenimientos.	Continuo

*Fuente:* Elaboración propia (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 CONCLUSIONES

### Conclusión N° 1

Al finalizar el proyecto, se concluye que el desarrollo del prototipo autónomo de reconocimiento inteligente constituye un avance significativo en el campo de la robótica aplicada a entornos de difícil acceso, evidenciando una integración tecnológica efectiva entre los componentes mecánicos, electrónicos y de software.

A lo largo del proceso de diseño e implementación, se logró establecer una estructura coherente que permitió que cada elemento cumpliera una función específica orientada a los objetivos del proyecto. En este sentido, la incorporación del módulo Jetson NANO como unidad de procesamiento central resultó esencial, al posibilitar la ejecución de algoritmos de inteligencia artificial y visión computacional en tiempo real, optimizando el reconocimiento del entorno, sin embargo, no se logró la navegación autónoma y la toma de decisiones prácticamente en su totalidad sin dependencia de un operador humano.

Asimismo, la articulación entre los sistemas de percepción, como son los sensores ultrasónicos, cámaras y módulos de proximidad, y el sistema de procesamiento no fue totalmente óptimo para que el robot tuviera un desempeño eficaz en la recolección y análisis de información ambiental, es por ello que, este proceso de integración tecnológica asevera la importancia de una planificación metodológica detallada, que no solo contemple la funcionalidad de cada componente, sino también la interoperabilidad entre ellos.

En efecto, el sistema operativo Linux Ubuntu y las herramientas de desarrollo asociadas, como ROS (Robot Operating System) y OpenCV, demostraron ser plataformas idóneas para la ejecución de tareas de alto procesamiento, contribuyendo a la estabilidad y precisión del

prototipo sin embargo no pudieron ser utilizadas en tiempo real, dejando sin efecto ciertas funciones que lamentablemente no se pudieron lograr, para lo que se considera que es necesario otras pruebas para llegar a lograr un funcionamiento exitoso.

Otro aspecto relevante de esta integración radica en la eficiencia del flujo de comunicación entre los distintos módulos, la implementación de interfaces CSI, USB, GPIO e I2C garantizó una conexión fluida y estable, minimizando la latencia en la transmisión de datos y evitando fallos de sincronización. Este nivel de coherencia técnica evidencia que el diseño fue concebido bajo criterios de compatibilidad y escalabilidad, favoreciendo futuras actualizaciones del sistema.

Por tanto, puede afirmarse que el prototipo no solo alcanzó un buen nivel de funcionamiento, en algunos aspectos y en otros no tanto, sino que constituye una base sólida para el desarrollo de sistemas robóticos avanzados con fines de exploración, rescate y reconocimiento en entornos complejos o de riesgo, solo que son costosos y necesitan de mayor tiempo y elementos como programas adaptados al robot para llegar a cubrir todas las necesidades y que funcione en forma autónoma.

## **Conclusión N° 2**

Así mismo, es importante señalar que el diseño del prototipo autónomo se sustentó en principios de funcionalidad, adaptabilidad y sostenibilidad técnica, los cuales fueron aplicados de manera rigurosa en la fase de construcción, de igual manera, la elección de un sistema de locomoción hexápodo permitió dotar al robot de una estabilidad superior frente a las irregularidades del terreno, brindándole la capacidad de desplazarse con firmeza y precisión incluso en superficies asimétricas por medio de control remoto e inalámbrico.

Esta configuración mecánica, inspirada en la biomecánica de los insectos, otorga al robot una ventaja comparativa frente a otros sistemas de movilidad tradicionales como las ruedas u orugas, al posibilitarle una respuesta adaptativa y versátil ante obstáculos imprevistos, dicho diseño no solo contribuye a la movilidad eficiente, sino también a la reducción del riesgo de vuelco o daño estructural durante su funcionamiento.

En este contexto, los criterios de autonomía que permiten evaluar cuán “inteligente” o “autosuficiente” es un sistema robótico para tomar decisiones, adaptarse al entorno y ejecutar tareas por sí mismo, no se pudo lograr en su totalidad, sin embargo, la optimización del consumo de energía mediante el uso de baterías recargables de alta capacidad y componentes electrónicos de bajo consumo, como los servomotores de precisión, permitió maximizar el tiempo operativo del robot en campo.

Este último aspecto resulta crucial para llevar a cabo misiones en zonas de difícil acceso, donde la posibilidad de recarga eléctrica es limitada, de igual manera, la incorporación de un sistema de comunicación en tiempo real, mediante conexión inalámbrica WiFi, asegura que la información recopilada por los sensores pueda ser transmitida de forma continua hacia un centro de monitoreo o control remoto, fortaleciendo la capacidad de supervisión y toma de decisiones a distancia.

En el diseño, también se consideró la modularidad y escalabilidad del prototipo, lo cual representa un factor determinante para su mejora futura, esta estructura permite la integración de nuevos sensores, cámaras de mayor resolución o módulos de comunicación de largo alcance, sin alterar su configuración base, garantizando que el robot pueda evolucionar según las necesidades específicas de las instituciones que lo utilicen, como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) o la Cruz Roja Costarricense.

En síntesis, el diseño funcional y adaptable del prototipo demuestra que la innovación tecnológica puede coexistir con la sostenibilidad, la economía de recursos y la facilidad de mantenimiento, consolidando un modelo de robot robusto, confiable y aplicable a distintos contextos operativos.

### **Conclusión N° 3**

El proceso de implementación y pruebas del prototipo autónomo permitió validar no solo su operatividad técnica, sino también su sostenibilidad a mediano y largo plazo, la incorporación de un mantenimiento preventivo periódico, la verificación de voltajes adecuados y la gestión de software actualizado fueron factores determinantes para asegurar el rendimiento estable del robot en condiciones adversas. En este sentido, la adopción de prácticas de mantenimiento estructuradas, como la limpieza de ventiladores, la comprobación de baterías y la verificación del estado de los sensores, garantizó que los componentes críticos mantuvieran su desempeño en niveles óptimos, minimizando los riesgos de fallas por sobrecalentamiento o deterioro físico.

Por otro lado, la configuración de los parámetros eléctricos y ambientales contribuyó de manera significativa a la eficiencia y durabilidad del prototipo, la operación dentro de rangos seguros de temperatura, 10 °C a 35 °C, y el control del entorno físico evitaron daños a los circuitos internos y a los componentes de alta precisión, estos elementos reflejan una comprensión integral del diseño técnico, donde la ingeniería no se limita a la construcción del sistema, sino que se extiende al manejo responsable de las condiciones de operación.

Además, la gestión adecuada del almacenamiento interno, mediante la depuración periódica de datos y la actualización de los controladores NVIDIA (CUDA, cuDNN y TensorRT), optimizan el rendimiento de los algoritmos de inteligencia artificial, garantizando

respuestas rápidas y precisas en las tareas de reconocimiento y también para que pueda navegar en forma autónoma.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta fase demostraron que el prototipo no pudo cumplir con el requisito de autonomía, pero sí en la resistencia y aplicabilidad definidos en el planteamiento del proyecto, dado que el robot muestra una notable capacidad de adaptación ante diferentes tipos de terreno y condiciones ambientales, ya que su diseño robusto y modular lo convierte en una herramienta de gran potencial para instituciones dedicadas al rescate, la exploración o la gestión de emergencias.

En conclusión, el proyecto sienta las bases para futuras líneas de investigación y desarrollo tecnológico orientadas a la creación de sistemas de reconocimiento, consolidando un aporte significativo al campo de la robótica aplicada y a la innovación en Costa Rica, sin embargo y haciendo un breve resumen, la meta de la autonomía plena del robot no se logró en esta fase del proyecto, debido a que requiere mayor capacidad computacional, sin embargo, las pruebas demostraron que, si bien los módulos individuales funcionaron correctamente, su integración y la gestión de errores complejos a nivel global aún requieren de la intervención humana para una operación exitosa, así mismo se considera que esta propuesta fue exitosa ya que deja sentada las bases para la implementación de tecnología que pueda en un futuro colaborar con las instituciones como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), la Cruz Roja Costarricense y el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica.

## 6.2 RECOMENDACIONES

### Recomendación N° 1

Con respecto a la optimización de integración tecnológica y el sistema de autonomía operativa del robot, se recomienda a partir de los resultados obtenidos, fortalecer el sistema de autonomía y la integración tecnológica del robot, priorizando la coherencia entre los módulos de percepción, procesamiento y locomoción. Aunque el prototipo logró una integración funcional básica entre los sensores y el módulo Jetson Nano, no alcanzó una navegación totalmente autónoma ni la toma de decisiones independiente del operador humano.

Por ello, resulta necesario realizar una optimización integral del sistema de control, de manera que se logre una comunicación fluida y sincronizada entre los subsistemas de hardware y software.

Igualmente, se sugiere implementar un procesador de mayor capacidad computacional, como el Jetson Xavier NX o el Orin Nano, capaces de manejar redes neuronales más complejas en tiempo real y procesar simultáneamente datos de múltiples sensores, ya que esto permitiría ejecutar algoritmos de visión artificial y toma de decisiones sin depender completamente del control remoto.

Asimismo, se recomienda incorporar un sistema de inteligencia artificial adaptativo, mejorando el utilizado en esta oportunidad, basado en aprendizaje supervisado y refuerzo, para que el robot mejore su rendimiento conforme acumula experiencias de navegación y reconocimiento en distintos entornos.

En el ámbito energético, se aconseja mejorar la autonomía funcional mediante baterías de litio de alta densidad, complementadas con un sistema de monitoreo de consumo inteligente

que priorice las funciones críticas y minimice el gasto energético de los módulos secundarios. Esto, junto con la posible adición de paneles solares portátiles o estaciones de recarga rápida, permitiría extender las horas de operación del robot en misiones prolongadas.

Finalmente, se propone realizar un plan de validación técnica por fases, en el que cada componente, sensorial, mecánico, electrónico y de software, sea probado y ajustado de forma independiente antes de la integración final. De esta manera, se garantizará un mayor grado de autonomía real, una gestión energética más eficiente y una operación más estable y segura en entornos hostiles.

### **Recomendación N° 2:**

Con referencia al aumento de las capacidades sensoriales, de comunicación y adaptabilidad del sistema, considerando los resultados del diseño mecánico y electrónico, se recomienda ampliar las capacidades sensoriales y de comunicación del robot para potenciar su eficacia en misiones de exploración y rescate. El actual sistema de sensores ultrasónicos y cámaras proporciona un desempeño básico, pero insuficiente para un reconocimiento ambiental complejo o tridimensional, en este sentido, se sugiere la integración de sensores térmicos, de gases tóxicos e infrarrojos, que permitan la detección de fuentes de calor, víctimas humanas o materiales peligrosos en escenarios de desastre o contaminación.

En cuanto a la comunicación, se recomienda la adopción de módulos de transmisión de largo alcance, como LoRa, 5G o redes Wi-Fi Mesh, los cuales posibilitarían una conexión estable con los centros de monitoreo a distancia, incluso en zonas sin cobertura tradicional, esta conectividad avanzada, combinada con protocolos de telemetría y control remoto, mejoraría significativamente la coordinación del robot con operadores humanos o con otros sistemas automatizados, aumentando la seguridad y la efectividad de las misiones.

También es pertinente reforzar la modularidad y escalabilidad del prototipo, de manera que el sistema admita futuras actualizaciones o sustitución de componentes sin alterar la estructura principal, esta flexibilidad permitiría incorporar cámaras de mayor resolución, módulos GPS de precisión, sistemas LIDAR o incluso brazos articulados para manipulación de objetos, adaptando el robot a distintos contextos operativos, desde la búsqueda y rescate hasta la exploración ambiental o la vigilancia estructural.

Por último, se aconseja desarrollar una interfaz de comunicación visual y auditiva mejorada, que permita al operador interpretar en tiempo real los datos recolectados por los sensores, esto no solo fortalecería el proceso de reconocimiento, sino que también contribuiría a una toma de decisiones más rápida y segura durante las operaciones en terreno, a través de estas mejoras, el robot podría evolucionar hacia un sistema de percepción avanzada, incrementando su grado de autonomía y su utilidad práctica en entornos críticos.

### **Recomendación N° 3**

Con respecto al fortalecimiento en las pruebas de campo, el mantenimiento predictivo y la validación institucional, y con base en la fase de implementación y evaluación del prototipo, se recomienda establecer un plan estructurado de pruebas de campo y mantenimiento predictivo que garantice la estabilidad, durabilidad y confiabilidad del sistema a largo plazo. De esta manera, las pruebas deben realizarse en escenarios controlados y posteriormente en entornos reales, simulando condiciones adversas como terrenos irregulares, obstáculos dinámicos, cambios de iluminación y temperaturas extremas, este proceso permitirá evaluar el comportamiento integral del robot, detectar fallas de comunicación o procesamiento y establecer ajustes en su calibración.

Asimismo, se sugiere formalizar colaboraciones con instituciones especializadas, tales como la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), la Cruz Roja Costarricense y el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, con el fin de validar la utilidad del robot en contextos de rescate, monitoreo o reconocimiento en zonas de difícil acceso, dado que estas alianzas institucionales no solo aportarían credibilidad técnica, sino que también facilitarían el desarrollo de protocolos de actuación conjunta entre humanos y sistemas robóticos.

En el plano técnico, se recomienda desarrollar un protocolo de mantenimiento predictivo automatizado, basado en la recopilación de datos sobre temperatura, voltaje, consumo energético y rendimiento de los servomotores, este sistema, apoyado en algoritmos de diagnóstico preventivo, permitiría anticipar posibles fallas antes de que comprometan la operación del robot, además, la actualización periódica del software y los controladores CUDA, cuDNN, TensorRT, entre otros, son esenciales para optimizar los procesos de inteligencia artificial y garantizar un funcionamiento eficiente.

Finalmente, se aconseja incorporar un registro digital de mantenimiento y desempeño, que documente cada prueba, ajuste y actualización, facilitando el seguimiento del ciclo de vida del robot, este enfoque sistemático promoverá una cultura de sostenibilidad tecnológica y asegurará que futuras versiones del prototipo se desarrollen sobre una base sólida de evidencia empírica y eficiencia comprobada, dejando constancia de que este proyecto fue una prueba de conceptos y exploración de soluciones, debido al tiempo limitado y presupuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional de Emergencias . (05 de 03 de 2025). Evolución histórica.

<https://www.cne.go.cr/acerca/historia.aspx>

Comisión Nacional de Emergencia. (2025). Informes Institucionales: Estado de Situación del Fondo Nacional de Emergencia.

[https://www.cne.go.cr/transparencia/informes\\_institucionales.aspx](https://www.cne.go.cr/transparencia/informes_institucionales.aspx)

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos . (05 de 03 de 2025). ¿Quiénes somos?

[https://www.cne.go.cr/acerca/quienes\\_somos.aspx](https://www.cne.go.cr/acerca/quienes_somos.aspx)

Costa Rica, Leyes y decretos. (11 de 01 de 2006). Ley N° 8488:Ley Nacional de Emergencias y. (L. G. 8, Ed.)

[https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2006/01/11/COMP\\_11\\_01\\_2006.html](https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2006/01/11/COMP_11_01_2006.html)

Dumas, M. (2018). Fundamentals of Business Process Management (Vol. Segunda Edición). Springer.

Fernández, R. (04 de 12 de 2024). Robots de Rescate: Innovación y Futuro en Situaciones de Emergencia. <https://innovamundo.com/articles/robots-de-rescate-innovacion-y-futuro-en-emergencias-4072>

Informe Nro. DFOE-AE-IF-00011-2019 . (2019). Informe de auditoría operativa acerca de la eficacia y eficiencia del proceso de reconstrucción de obra a cargo de la CNE y Unidades ejecutoras .

[https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs\\_cgr/2019/SIGYD\\_D\\_2019021560.pdf](https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2019/SIGYD_D_2019021560.pdf)

José Manuel Moreira Chavarría. (2025). Elaboración propia.

La Junta Directiva de la CNE. (30 de 06 de 2009). Reglamento de Organización y Funcionamiento de los Comités Regionales, Municipales y Comunales de Emergencia.

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=66156&nValor3=77647&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=66156&nValor3=77647&strTipM=TC)

Ley Nacional de Emergencia N° 7914 . (13 de 10 de 1999). Ley : 7914.

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=29334&nValor3=0&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=29334&nValor3=0&strTipM=TC)

Sistema Nacional de Gestión de Riesgo. (04 de 03 de 2025). Comité Comunal de Emergencias

(CCE): Instancias de coordinación.

[https://www.cne.go.cr/rectoria/instancias\\_coordinacion/comite\\_comunal\\_emergencias.aspx](https://www.cne.go.cr/rectoria/instancias_coordinacion/comite_comunal_emergencias.aspx)

TechFormacion. (10 de 03 de 2025). Robótica en desastres: Robots al rescate en situaciones de

emergencia. [https://techformacion.net/robotica/robotica-desastres-robots-rescate-](https://techformacion.net/robotica/robotica-desastres-robots-rescate-situaciones-emergencia/#importancia_de_la_robotica_en_situaciones_de_emergencia)

[situaciones-emergencia/#importancia\\_de\\_la\\_robotica\\_en\\_situaciones\\_de\\_emergencia](https://techformacion.net/robotica/robotica-desastres-robots-rescate-situaciones-emergencia/#importancia_de_la_robotica_en_situaciones_de_emergencia)

Vallejo, V., y Picado, R. (2014). Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de

Emergencias: Institución Rectora de la Gestión para la. San José, Costa Rica: Comisión

Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

<https://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/folletoCNE.pdf>

## **GLOSARIO Y ACRÓNIMOS**

- LCD: Liquid Crystal Display
- I2C: Inter Integrated Circuit
- Raspberry Pi: Ordenador de placa reducida programable.
- Wifi: Tecnología que permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos.
- Sensor: Dispositivo capaz de percibir magnitudes físicas y transformarlas en variables eléctricas.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

## INSTRUMENTO DE OBSERVACIÓN

Se utiliza durante las pruebas de campo o laboratorio.

Categoría	Indicador observado	Escala de evaluación (1-5)	Observaciones cualitativas
<b>Movilidad y desplazamiento</b>	Capacidad de desplazamiento sin colisiones.	3	El robot logró desplazarse de forma general estable, aunque presentó algunas colisiones menores al enfrentarse con obstáculos imprevistos o en zonas de alta densidad de objetos.
	Estabilidad al recorrer superficies irregulares.	4	El prototipo mostró un desempeño sólido en terrenos con inclinaciones y desniveles moderados. Su sistema de locomoción hexápodo permitió mantener el equilibrio en la mayoría de las pruebas,
	Capacidad para girar o cambiar de dirección con precisión.	5	El sistema de control demostró un nivel de respuesta excelente ante comandos de dirección, ejecutando giros suaves y precisos sin pérdida de estabilidad ni retraso perceptible
	Velocidad promedio en condiciones normales y adversas.	4	La velocidad de desplazamiento se mantuvo constante y eficiente bajo condiciones normales, alcanzando niveles satisfactorios en entornos controlados.

Categoría	Indicador observado	Escala de evaluación (1-5)	Observaciones cualitativas
<b>Reconocimiento y percepción</b>	Detección correcta de obstáculos mediante sensores.	5	El sistema sensorial mostró un desempeño altamente preciso en la identificación y localización de obstáculos en su entorno inmediato. Los sensores ultrasónicos y de proximidad respondieron de manera rápida y confiable
	Identificación de elementos o patrones visuales (si usa visión artificial).	5	El módulo de visión artificial, asistido por la Jetson Nano y el software de procesamiento OpenCV, logró identificar con éxito objetos y patrones predefinidos durante las pruebas. La interpretación de imágenes fue precisa incluso bajo condiciones de iluminación variable,
	Respuesta del sistema ante estímulos o cambios en el entorno.	4	El robot reaccionó de forma efectiva frente a variaciones ambientales y estímulos externos, ajustando su trayectoria y velocidad de manera adaptativa. Sin embargo, se observó un leve retardo en la respuesta ante cambios repentinos de dirección o presencia de múltiples estímulos simultáneos.
<b>Autonomía y eficiencia energética</b>	Duración de la batería por ciclo de operación.	5	El sistema energético presentó un rendimiento óptimo, alcanzando una duración completa del ciclo operativo sin interrupciones. Las baterías de alta capacidad mantuvieron un suministro estable de energía durante todo el periodo de

Categoría	Indicador observado	Escala de evaluación (1-5)	Observaciones cualitativas
			prueba, sin evidenciar caídas de voltaje ni sobrecalentamientos.
	Capacidad de regreso al punto inicial o parada segura.	2	El robot presentó limitaciones considerables en la ejecución de maniobras automáticas de retorno o detención segura. En varias pruebas, fue necesaria la intervención manual para asegurar su posicionamiento final, lo que indica una dependencia del operador humano en situaciones donde se requiere autonomía total.
	Consumo energético por minuto o por tarea.	5	El análisis del consumo eléctrico reveló un alto nivel de eficiencia en la distribución de energía por tarea ejecutada. Los componentes electrónicos y servomotores trabajaron de manera coordinada, manteniendo un bajo nivel de consumo sin comprometer el rendimiento del sistema.
<b>Procesamiento e inteligencia artificial</b>	Precisión en la toma de decisiones automáticas.	1	El sistema presentó una capacidad muy limitada para ejecutar decisiones de manera autónoma. En la mayoría de las pruebas, el robot dependió de la intervención manual del operador para corregir trayectorias o definir acciones ante estímulos externos.

Categoría	Indicador observado	Escala de evaluación (1-5)	Observaciones cualitativas
	Tiempo de respuesta del sistema ante un evento.	4	El robot demostró un tiempo de reacción eficiente frente a la mayoría de los eventos o cambios del entorno. Las respuestas del sistema se ejecutaron con fluidez y sin retrasos significativos, lo que evidencia un adecuado procesamiento de señales por parte del módulo Jetson NANO.
	Nivel de acierto en la interpretación de datos sensoriales.	5	El sistema alcanzó un desempeño sobresaliente en la interpretación de la información proveniente de los sensores. Los datos captados por los módulos ultrasónicos, cámaras y sensores de proximidad fueron procesados con gran precisión, permitiendo una lectura coherente y consistente del entorno.
<b>Integridad estructural y mantenimiento</b>	Estado físico de las piezas después de cada prueba.	5	El prototipo mantuvo un excelente estado físico tras cada sesión de prueba, sin evidenciar deformaciones, grietas ni deterioro en las piezas estructurales o electrónicas. La calidad de los materiales seleccionados y la adecuada distribución del peso contribuyeron a su durabilidad.
	Resistencia del chasis ante impactos menores.	5	El chasis demostró una resistencia sobresaliente ante golpes o colisiones de baja intensidad, manteniendo su rigidez estructural y sin presentar daños visibles. La elección de

Categoría	Indicador observado	Escala de evaluación (1-5)	Observaciones cualitativas
			materiales ligeros pero robustos, combinados con un diseño hexápodo estable, permitió una excelente absorción de impactos, protegiendo eficazmente las partes internas del robot, como los servomotores y el módulo de procesamiento Jetson NANO.
	Facilidad de desmontaje y ajuste de componentes.	5	El diseño modular del robot facilitó en gran medida el desmontaje, ensamblaje y ajuste de los distintos componentes. Los módulos de sensores, articulaciones y unidades electrónicas pudieron ser intervenidos de manera rápida y precisa, lo que favorece las labores de mantenimiento y actualización.

**Nota:** Elaboración propia (José Manuel Moreira Chavarría, 2025)

## ANEXO 2

### INSTRUMENTO DE ENTREVISTA

#### UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

#### ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

#### Entrevista a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE)

**Nombre del estudiante: José Manuel Moreira Chavarría**

Como parte del desarrollo del proyecto de investigación titulado: “Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con inteligencia artificial para lugares de difícil acceso”, se realiza la presente entrevista a personas rescatistas del cuerpo de bomberos, Cruz Roja, entre otros de Costa Rica.

El objetivo principal de esta entrevista es recopilar información técnica y operativa relevante sobre los desafíos actuales que enfrenta la CNE en situaciones de emergencia en zonas de difícil acceso. En particular, se busca comprender las necesidades reales en relación con el tiempo de despliegue de equipos de rescate, limitaciones en la exploración de áreas peligrosas, falta de precisión en la identificación de personas u objetos y la carencia de información en tiempo real durante eventos críticos.

La información obtenida será de gran valor para fundamentar el diseño y funcionalidad del prototipo propuesto, asegurando que la solución tecnológica esté alineada con los requerimientos reales del país en contextos de emergencia y rescate.

Agradecemos de antemano la disposición y colaboración para con este proyecto académico.

## Preguntas

1. ¿Cuál ha sido una de las situaciones más difíciles que han enfrentado en una zona de difícil acceso?

### Bomberos:

Uno de los incidentes más complejos fue el rescate tras un deslave en la zona de Cambronero, donde el acceso estaba completamente bloqueado por el colapso de terreno. Se requirió caminar más de 4 horas con equipo de carga pesada.

### Cruz Roja:

Durante la emergencia por huracán Otto, enfrentamos comunidades totalmente incomunicadas. Algunos rescatistas debieron ingresar en bote y otros a pie por zonas montañosas sin visibilidad, lo que hizo muy difícil localizar a personas necesitadas de atención médica urgente.

2. ¿Cuáles son los principales obstáculos físicos (terreno, clima, visibilidad) que complican el rescate en esos lugares?

### Bomberos:

El lodo, los deslizamientos activos, la densa vegetación y la falta de caminos dificultan el acceso. A veces usamos machetes o hasta abrimos brechas a mano.

### Cruz Roja:

La visibilidad nocturna, la lluvia intensa y la topografía irregular son nuestros mayores retos. En muchas ocasiones hay que detener las labores por riesgo de caída o por falta de ubicación exacta.

3. ¿Qué limitaciones enfrentan cuando se trata de buscar personas atrapadas bajo escombros o en estructuras colapsadas?

### Bomberos:

La inestabilidad estructural nos impide ingresar rápido. Además, los equipos caninos no siempre pueden operar en espacios muy estrechos o contaminados.

**Cruz Roja:**

A veces no contamos con equipos de escucha o cámaras especializadas, y debemos depender del sonido o del olfato canino, lo cual no es 100% confiable en ciertos entornos.

4. ¿Qué herramientas tecnológicas utilizan actualmente durante las operaciones de rescate?  
¿Funcionan bien en terrenos complicados?

**Bomberos:**

Utilizamos cámaras térmicas, drones y sensores acústicos. Sin embargo, en zonas selváticas o con escombros densos, la cobertura de los drones o la lectura térmica se vuelve limitada.

**Cruz Roja:**

Contamos con GPS, drones y radios VHF. En áreas remotas o cerradas, el GPS pierde señal y los drones no siempre pueden volar por ramas o escombros.

5. ¿Qué tipo de información (visual, térmica, geográfica) consideran más útil para facilitar una operación efectiva?

**Bomberos:**

La información térmica es clave para localizar cuerpos o personas con vida. También valoramos los mapas topográficos en 3D del terreno.

**Cruz Roja:**

Visual y térmica en conjunto. Nos ayuda a determinar si hay víctimas en movimiento, su temperatura corporal, o si están cubiertas por materiales.

6. ¿Qué utilidad le ven a un robot autónomo que pueda ingresar a zonas inaccesibles para humanos?

**Bomberos:**

Altísima. Nos permitiría hacer un reconocimiento inicial sin exponer personal, sobre todo en estructuras que aún podrían colapsar.

**Cruz Roja:**

Sería un recurso invaluable. Podría salvar vidas al darnos una idea clara antes de que entren los socorristas. Especialmente útil en terremotos o derrumbes.

7. ¿Qué funciones consideran prioritarias que debería tener ese robot (por ejemplo, cámaras, sensores térmicos, comunicación en tiempo real, detección de gases, etc.)?

**Bomberos:**

Cámara de alta resolución, visión nocturna, sensores térmicos, y detección de gases inflamables o tóxicos como CO o metano. También que pueda enviar imágenes en tiempo real.

**Cruz Roja:**

Además de cámaras y sensores térmicos, sería ideal que tuviera micrófonos para captar sonidos humanos, GPS integrado y un sistema de comunicación bidireccional para orientar a las víctimas.

8. ¿Qué tan importante es que el robot sea silencioso, rápido o resistente a condiciones climáticas extremas?

**Bomberos:**

Debe ser silencioso para no interferir con la detección de sonidos. Además, muy resistente al polvo, agua, barro y temperaturas altas.

**Cruz Roja:**

Crucial. Si no puede operar bajo lluvia intensa o lodo, no sirve para nuestras condiciones.

También debe ser lo suficientemente rápido para explorar antes de que la situación cambie.

9. ¿Qué tan difícil es mantener la comunicación entre los equipos de rescate en entornos como montañas, zonas rurales o estructuras colapsadas?

**Bomberos:**

Extremadamente difícil. La señal de radio se pierde, no hay red celular, y a veces hay que montar repetidores portátiles.

**Cruz Roja:**

En muchas ocasiones solo tenemos comunicación si usamos radios satelitales, que son escasos.

La cobertura convencional es casi nula en zonas como Talamanca o Cerro de la Muerte.

10. ¿Cómo impactaría en su trabajo disponer de información en tiempo real enviada por un robot antes de que ingresen los equipos humanos?

**Bomberos:**

Marcaría una diferencia enorme. Reduciría el riesgo de muerte para el personal y permitiría tomar decisiones más precisas sobre por dónde ingresar o si es seguro hacerlo.

**Cruz Roja:**

Nos daría ventaja estratégica. Al conocer la ubicación de las víctimas o las condiciones internas, podríamos llevar el equipo exacto y actuar más rápido, sin tanteos.

**Muchas gracias.**

### **ANEXO 3**

#### **INSTRUMENTO DE ENCUESTA**

#### **UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA**

#### **ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

#### **Entrevista a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE)**

**Nombre del estudiante: José Manuel Moreira Chavarría**

Como parte del desarrollo del proyecto de investigación titulado: “Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con inteligencia artificial para lugares de difícil acceso”, se realiza la presente entrevista con representantes de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) de Costa Rica.

El objetivo principal de esta entrevista es recopilar información técnica y operativa relevante sobre los desafíos actuales que enfrenta la CNE en situaciones de emergencia en zonas de difícil acceso. En particular, se busca comprender las necesidades reales en relación con el tiempo de despliegue de equipos de rescate, limitaciones en la exploración de áreas peligrosas, falta de precisión en la identificación de personas u objetos y la carencia de información en tiempo real durante eventos críticos.

La información obtenida será de gran valor para fundamentar el diseño y funcionalidad del prototipo propuesto, asegurando que la solución tecnológica esté alineada con los requerimientos reales del país en contextos de emergencia y rescate.

Agradecemos de antemano la disposición y colaboración de la Comisión Nacional de Emergencias para con este proyecto académico.

## Preguntas

**1. ¿La CNE ha considerado o utilizado tecnologías como drones, robots o sistemas con inteligencia artificial en escenarios de emergencia? ¿Podría compartir ejemplos o experiencias concretas?**

---

---

---

**2. Desde su experiencia, ¿qué tipo de tecnologías considera más prometedoras para apoyar en la búsqueda y rescate en zonas de difícil acceso?**

---

---

---

**3. ¿Cuáles son los principales retos que enfrenta la CNE al identificar personas atrapadas o evaluar la estabilidad de estructuras colapsadas?**

---

---

---

**4. ¿Qué tipo de información visual, térmica o acústica sería más útil para la identificación de personas y la evaluación del entorno en estas situaciones?**

---

---

---

**5. ¿Existen protocolos actuales o herramientas específicas que se usen en este tipo de tareas y que podrían integrarse o complementarse con nuevas tecnologías?**

---

---

---

**6. ¿Qué características del terreno suelen encontrarse en las zonas más problemáticas en Costa Rica durante emergencias (tipo de suelo, humedad, obstáculos, inestabilidad)?**

---

---

---

**7. ¿Qué nivel de autonomía esperaría la CNE en un sistema robótico de apoyo (evitación de obstáculos, toma de decisiones, retorno automático, etc.)?**

---

---

---

**8. ¿Cuál sería la importancia de que el robot navegue sin intervención humana directa, especialmente en áreas peligrosas o inaccesibles?**

---

---

---

**9. ¿Estaría la CNE dispuesta a colaborar en pruebas de campo o simulaciones controladas para validar el prototipo en entornos similares a los reales?**

---

---

---

**10. ¿Qué criterios considera más importantes para evaluar el rendimiento de un prototipo robótico en este contexto (velocidad de exploración, precisión en el reconocimiento, transmisión de datos, resistencia física, etc.)?**

---

---

---

**Muchas gracias.**

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Entrevista al Cuerpo de Bomberos, Cruz Roja**

**Nombre del estudiante: José Manuel Moreira Chavarría**

Como parte del desarrollo del proyecto de investigación titulado: “Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con inteligencia artificial para lugares de difícil acceso”, se realiza la presente entrevista a personas rescatistas del cuerpo de bomberos, Cruz Roja, entre otros de Costa Rica.

El objetivo principal de esta entrevista es recopilar información técnica y operativa relevante sobre los desafíos actuales que enfrenta la CNE en situaciones de emergencia en zonas de difícil acceso. En particular, se busca comprender las necesidades reales en relación con el tiempo de despliegue de equipos de rescate, limitaciones en la exploración de áreas peligrosas, falta de precisión en la identificación de personas u objetos y la carencia de información en tiempo real durante eventos críticos.

La información obtenida será de gran valor para fundamentar el diseño y funcionalidad del prototipo propuesto, asegurando que la solución tecnológica esté alineada con los requerimientos reales del país en contextos de emergencia y rescate.

Agradecemos de antemano la disposición y colaboración para con este proyecto académico.

**Preguntas**

1. ¿Cuál ha sido una de las situaciones más difíciles que han enfrentado en una zona de difícil acceso?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

2. ¿Cuáles son los principales obstáculos físicos (terreno, clima, visibilidad) que complican el rescate en esos lugares?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

3. ¿Qué limitaciones enfrentan cuando se trata de buscar personas atrapadas bajo escombros o en estructuras colapsadas?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

4. ¿Qué herramientas tecnológicas utilizan actualmente durante las operaciones de rescate?  
¿Funcionan bien en terrenos complicados?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

5. ¿Qué tipo de información (visual, térmica, geográfica) consideran más útil para facilitar una operación efectiva?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

6. ¿Qué utilidad le ven a un robot autónomo que pueda ingresar a zonas inaccesibles para humanos?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

7. ¿Qué funciones consideran prioritarias que debería tener ese robot (por ejemplo, cámaras, sensores térmicos, comunicación en tiempo real, detección de gases, etc.)?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

8. ¿Qué tan importante es que el robot sea silencioso, rápido o resistente a condiciones climáticas extremas?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

9. ¿Qué tan difícil es mantener la comunicación entre los equipos de rescate en entornos como montañas, zonas rurales o estructuras colapsadas?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

10. ¿Cómo impactaría en su trabajo disponer de información en tiempo real enviada por un robot antes de que ingresen los equipos humanos?

**Bomberos:**

---

---

---

**Cruz Roja:**

---

---

---

**Muchas gracias.**

## ANEXO 4

### DATOS DE LA APLICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Entrevista a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE)**

**Nombre del estudiante: José Manuel Moreira Chavarría**

Como parte del desarrollo del proyecto de investigación titulado: “Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con inteligencia artificial para lugares de difícil acceso”, se realiza la presente entrevista con representantes de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) de Costa Rica.

El objetivo principal de esta entrevista es recopilar información técnica y operativa relevante sobre los desafíos actuales que enfrenta la CNE en situaciones de emergencia en zonas de difícil acceso. En particular, se busca comprender las necesidades reales en relación con el tiempo de despliegue de equipos de rescate, limitaciones en la exploración de áreas peligrosas, falta de precisión en la identificación de personas u objetos y la carencia de información en tiempo real durante eventos críticos.

La información obtenida será de gran valor para fundamentar el diseño y funcionalidad del prototipo propuesto, asegurando que la solución tecnológica esté alineada con los requerimientos reales del país en contextos de emergencia y rescate.

Agradecemos de antemano la disposición y colaboración de la Comisión Nacional de Emergencias para con este proyecto académico.

#### **Preguntas**

1. ¿Cuáles son las principales dificultades que enfrenta actualmente la CNE al desplegar equipos de emergencia en zonas de difícil acceso?

Si, se utilizan a diario para realizar las inspecciones en los escenarios de amenaza (geotécnica, volcánicas, sísmica, etc.) en los territorios a nivel nacional.

2. ¿Con qué frecuencia se presentan situaciones en las que el personal de rescate no puede ingresar a ciertas áreas por riesgos físicos o estructurales?

En la búsqueda creo que los drones son una muy buena opción.

En el rescate habría que explorar con robots.

Y en el análisis de información en alerta temprana la Inteligencia artificial es la opción.

3. ¿Qué tecnologías o herramientas utilizan actualmente para la identificación de personas u objetos en situaciones de derrumbe o emergencia? ¿Y cuáles son sus principales limitaciones?

El principal reto para la identificación de personas atrapadas es el contar con el suficiente equipo y personal entrenado en las diferentes regiones ya que el país no cuenta con muchas unidades de estos, pero este está limitado para algunos escenarios que contienen diversos materiales (concreto, madera, tierra, escombros, cavernas, deslizamientos, etc.).

Y en la estabilidad de edificios si hay equipos propiamente para esta labor, pero el reto sigue siendo la cantidad en las diferentes regiones.

4. ¿Podría compartir estadísticas recientes que evidencien el impacto de la falta de información en tiempo real durante emergencias?

Todas son útiles debido a los diversos materiales a los cuales se ven expuestos los equipos de búsqueda y rescate, los cuales se deben utilizar en los diversos escenarios.

5. ¿Qué opinión tiene la CNE sobre la incorporación de tecnologías autónomas, como robots con inteligencia artificial, en sus operaciones de búsqueda, rescate o reconocimiento?

Si existen y considero que apoyados con nuevas tecnologías efectivas y de bajo costo podrían ser una solución para una mejor, adecuada y pronta respuesta de las instituciones de primera respuesta para acortar tiempos y poder tener una mejor expectativa de vida de las víctimas expuestas a este tipo de situaciones.

6. ¿Existen precedentes o colaboraciones anteriores con universidades u organizaciones para el desarrollo de soluciones tecnológicas en contextos de emergencia?

Como ya lo he expuesto en preguntas anteriores la diversidad de condiciones en las diferentes regiones del país nos enfrenta a retos importantes, tanto los expuestos por usted en su pregunta como otras adicionales: altura sobre nivel del mar, accesos terrestres, materiales, tipo de eventos y amenazas, causalidades, etc.)

7. ¿Cuáles serían las características mínimas que un robot de reconocimiento autónomo debería tener para ser funcional y útil en operaciones reales de emergencia según la experiencia de la CNE?

Esperaríamos que cuente con robustes para el acceso a cualquier tipo de terreno y condiciones, además de larga autonomía para escenarios de amenazas de larga duración en su manifestación, así como el poder cargar y/o arrastrar víctimas o materiales o contenedores para extraer o aislar según corresponda.

8. ¿Qué tipo de datos en tiempo real considera más relevantes para mejorar la toma de decisiones durante un rescate (por ejemplo, imágenes térmicas, ubicación GPS, detección de gases, señales de vida, etc.)?

Eso sería muy importante, pero podría tener consecuencias negativas sino tiene un buen direccionamiento, configuración o programación ya que en muchos de los casos podrían estar dirigidos a salvar personas. Creo que deberían tener al menos cámaras de seguimiento

9. ¿Estaría la CNE dispuesta a colaborar en fases de prueba o simulación con prototipos desarrollados por equipos universitarios o académicos?

Si, siempre y cuando no tengamos que aportar presupuesto ya que no se cuenta actualmente con estas partidas. Pero si pudiéramos apoyar con escenarios.

10. ¿Cuáles considera que serían los principales desafíos éticos, logísticos o regulatorios para la incorporación de un robot autónomo en sus operaciones reales de emergencia?

• Robustes

- Efectividad
- Confiabilidad
- Buena visibilidad de cámara
- Transmisión de datos
- Recolección de muestras y análisis de atmósferas.

**Muchas gracias.**

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Entrevista al Cuerpo de Bomberos y Cruz Roja**

**Nombre del estudiante: José Manuel Moreira Chavarría**

Como parte del desarrollo del proyecto de investigación titulado: “Diseño e implementación de un prototipo autónomo de reconocimiento inteligente en un robot con inteligencia artificial para lugares de difícil acceso”, se realiza la presente entrevista a personas rescatistas del Cuerpo de Bomberos y Cruz Roja, entre otros de Costa Rica.

El objetivo principal de esta entrevista es recopilar información técnica y operativa relevante sobre los desafíos actuales que enfrenta la CNE en situaciones de emergencia en zonas de difícil acceso. En particular, se busca comprender las necesidades reales en relación con el tiempo de despliegue de equipos de rescate, limitaciones en la exploración de áreas peligrosas, falta de precisión en la identificación de personas u objetos y la carencia de información en tiempo real durante eventos críticos.

La información obtenida será de gran valor para fundamentar el diseño y funcionalidad del prototipo propuesto, asegurando que la solución tecnológica esté alineada con los requerimientos reales del país en contextos de emergencia y rescate.

Agradecemos de antemano la disposición y colaboración para con este proyecto académico.

**Preguntas**

1. ¿Cuál ha sido una de las situaciones más difíciles que han enfrentado en una zona de difícil acceso?

**Bomberos:**

Uno de los incidentes más complejos fue el rescate tras un deslave en la zona de Cambronero, donde el acceso estaba completamente bloqueado por el colapso de terreno. Se requirió caminar más de 4 horas con equipo de carga pesada.

**Cruz Roja:**

Durante la emergencia por huracán Otto, enfrentamos comunidades totalmente incomunicadas. Algunos rescatistas debieron ingresar en bote y otros a pie por zonas montañosas sin visibilidad, lo que hizo muy difícil localizar a personas necesitadas de atención médica urgente.

2. ¿Cuáles son los principales obstáculos físicos (terreno, clima, visibilidad) que complican el rescate en esos lugares?

**Bomberos:**

El lodo, los deslizamientos activos, la densa vegetación y la falta de caminos dificultan el acceso. A veces usamos machetes o hasta abrimos brechas a mano.

**Cruz Roja:**

La visibilidad nocturna, la lluvia intensa y la topografía irregular son nuestros mayores retos. En muchas ocasiones hay que detener las labores por riesgo de caída o por falta de ubicación exacta.

3. ¿Qué limitaciones enfrentan cuando se trata de buscar personas atrapadas bajo escombros o en estructuras colapsadas?

**Bomberos:**

La inestabilidad estructural nos impide ingresar rápido. Además, los equipos caninos no siempre pueden operar en espacios muy estrechos o contaminados.

**Cruz Roja:**

A veces no contamos con equipos de escucha o cámaras especializadas, y debemos depender del sonido o del olfato canino, lo cual no es 100% confiable en ciertos entornos.

4. ¿Qué herramientas tecnológicas utilizan actualmente durante las operaciones de rescate? ¿Funcionan bien en terrenos complicados?

**Bomberos:**

Utilizamos cámaras térmicas, drones y sensores acústicos. Sin embargo, en zonas selváticas o con escombros densos, la cobertura de los drones o la lectura térmica se vuelve limitada.

**Cruz Roja:**

Contamos con GPS, drones y radios VHF. En áreas remotas o cerradas, el GPS pierde señal y los drones no siempre pueden volar por ramas o escombros.

5. ¿Qué tipo de información (visual, térmica, geográfica) consideran más útil para facilitar una operación efectiva?

**Bomberos:**

La información térmica es clave para localizar cuerpos o personas con vida. También valoramos los mapas topográficos en 3D del terreno.

**Cruz Roja:**

Visual y térmica en conjunto. Nos ayuda a determinar si hay víctimas en movimiento, su temperatura corporal, o si están cubiertas por materiales.

6. ¿Qué utilidad le ven a un robot autónomo que pueda ingresar a zonas inaccesibles para humanos?

**Bomberos:**

Altísima. Nos permitiría hacer un reconocimiento inicial sin exponer personal, sobre todo en estructuras que aún podrían colapsar.

**Cruz Roja:**

Sería un recurso invaluable. Podría salvar vidas al darnos una idea clara antes de que entren los socorristas. Especialmente útil en terremotos o derrumbes.

7. ¿Qué funciones consideran prioritarias que debería tener ese robot (por ejemplo, cámaras, sensores térmicos, comunicación en tiempo real, detección de gases, etc.)?

**Bomberos:**

Cámara de alta resolución, visión nocturna, sensores térmicos, y detección de gases inflamables o tóxicos como CO o metano. También que pueda enviar imágenes en tiempo real.

**Cruz Roja:**

Además de cámaras y sensores térmicos, sería ideal que tuviera micrófonos para captar sonidos humanos, GPS integrado y un sistema de comunicación bidireccional para orientar a las víctimas.

8. ¿Qué tan importante es que el robot sea silencioso, rápido o resistente a condiciones climáticas extremas?

**Bomberos:**

Debe ser silencioso para no interferir con la detección de sonidos. Además, muy resistente al polvo, agua, barro y temperaturas altas.

**Cruz Roja:**

Crucial. Si no puede operar bajo lluvia intensa o lodo, no sirve para nuestras condiciones. También debe ser lo suficientemente rápido para explorar antes de que la situación cambie.

9. ¿Qué tan difícil es mantener la comunicación entre los equipos de rescate en entornos como montañas, zonas rurales o estructuras colapsadas?

**Bomberos:**

Extremadamente difícil. La señal de radio se pierde, no hay red celular, y a veces hay que montar repetidores portátiles.

**Cruz Roja:**

En muchas ocasiones solo tenemos comunicación si usamos radios satelitales, que son escasos. La cobertura convencional es casi nula en zonas como Talamanca o Cerro de la Muerte.

10. ¿Cómo impactaría en su trabajo disponer de información en tiempo real enviada por un robot antes de que ingresen los equipos humanos?

**Bomberos:**

Marcaría una diferencia enorme. Reduciría el riesgo de muerte para el personal y permitiría tomar decisiones más precisas sobre por dónde ingresar o si es seguro hacerlo.

**Cruz Roja:**

Nos daría ventaja estratégica. Al conocer la ubicación de las víctimas o las condiciones internas, podríamos llevar el equipo exacto y actuar más rápido, sin tanteos.

**ANEXO 4 – INFORME DE PLAGIO****Recibo digital**

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jose Manuel Moreira Chavarría  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: Tesis José Manuel Moreira Chavarría  
Nombre del archivo: Tesis\_Jos\_Manuel\_Moreira\_Chavarr\_a.docx  
Tamaño del archivo: 19.46M  
Total páginas: 202  
Total de palabras: 30,225  
Total de caracteres: 179,359  
Fecha de entrega: 07-nov-2025 05:29p. m. (UTC-0600)  
Identificador de la entrega: 2807151860

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESINA PARA OPTAR EL GRADO DE  
BACHILLERATO EN LA CARRERA DE  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO  
AUTÓNOMO DE RECONOCIMIENTO INTELIGENTE EN UN  
ROBOT CON AI PARA LUGARES DE DIFÍCIL ACCESO "**

**Sustentante:**

José Manuel Moreira Chavarría

**Tutor:**

José Alejandro Rojas López

Noviembre, 2025