



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO PARA OPERACIONES  
DE BÚSQUEDA Y RESCATE. CASO: UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR,  
EDO. MIRANDA, VENEZUELA.**

**Autor:**  
Castellano, Hermes  
C.I. 26.424.185  
hercast13@gmail.com

Urb. Yuma II, Calle N. ° 3, Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO PARA OPERACIONES  
DE BÚSQUEDA Y RESCATE. CASO: UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR,  
EDO. MIRANDA, VENEZUELA.**

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autor:**  
Castellano, Hermes  
C.I. 26.424.185  
hercast13@gmail.com  
**Tutor académico:**  
MSc. Wilmer Sanz  
C.I. 7.130.496

San Diego, Julio 2020



FI-E -002-2020-1CR (TG)

Valencia, 08 de junio de 2020

Ciudadano:  
Castellano M, Hermes de J.  
26.424.185  
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2020 de fecha 10-02-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DISEÑO DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO PARA OPERACIONES DE BÚSQUEDA Y RESCATE. Caso: Universidad Simón Bolívar, Estado Miranda, Venezuela*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Se ratifica la designación del Ing. Wilmer Sanz C.I: 7.130.496 como Tutor Académico que lo asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Luís Lira

**Decano de la Facultad de Ingeniería**

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

L/a.a.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

**San Diego, 30/06/2020**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, MSc. Wilmer Sanz portador de la cedula de identidad N° V-7.130.496, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Castellano M., Hermes de J. portador de la cedula de identidad N° V-26.424.185, titulado **“DISEÑO DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO PARA OPERACIONES DE BÚSQUEDA Y RESCATE. CASO: UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR, EDO. MIRANDA, VENEZUELA”** presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los treinta (30) días del mes de junio del año dos mil veinte (2020).

**MSc. Wilmer Sanz  
C.I.: 7.130.496**

## **DEDICATORIA**

**A Dios**, por permitirme llegar a esta etapa de la vida, sano y fuerte. Por permitirme abrir los ojos cada mañana y darme la oportunidad de seguir creciendo.

**A mis padres Ana y Hermes**, porque son los que me dieron las herramientas necesarias para estar donde estoy. Sus desvelos, sacrificios y esfuerzos extremos son los que me han permitido ser quien soy hoy en día. Todas las noches me doy cuenta de lo afortunado que soy por siempre contar con su apoyo incondicional, cariño, cuidado y amor; sin ustedes esto pudiese ser fácilmente un sueño.

**A mis abuelos Silveria, Ramón y Temilo**, que aunque ya no tengo recuerdos de ustedes, se que me cuidan, protegen y velan por mi éxito. Sus esfuerzos una vez más, luego de muchos años siguen generando frutos inmensos.

**A mi tía Colina y mi primo Luis Enrique**, porque un Diciembre del 2015 me ofrecieron un lugar donde poder cursar la universidad. Su apoyo y ayuda desde ese entonces me permitieron salir de mi ciudad natal, conocer otras cosas e incursarme en una aventura con resultados inmensurables.

**A mi familia**, porque a pesar de la distancia que nos separa siempre contamos el uno con el otro. Solo el apoyo y confianza de la familia es lo que nos permite seguir arriesgándonos.

## AGRADECIMIENTOS

**A mis profesores**, que se esforzaron y aún se esfuerzan por seguir enseñando a nuevas generaciones sin importar las condiciones. Mi formación académica y profesional se la debo a ustedes quienes siempre se preocuparon en formar ingenieros y ciudadanos de calidad. Estaré siempre agradecido con ustedes.

**A mis amigos**, que me acompañaron en todo momento durante la carrera. Más allá del apoyo académico, su compañía me permitió descubrir un montón de cosas nuevas, culturas, tradiciones y lo mejor, me permitió gozar y disfrutar la universidad. Soy fiel creyente de que cada uno es el resultado del promedio de las personas con las que se rodea. Gracias muchachos por permitirme tomar lo mejor de cada uno de ustedes y llevarlo conmigo. Los quiero un montón y nunca los olvidaré.

**A Fernando Núñez y María Laura Delgado**, porque algo que tenemos en común los tres es el amor por la Universidad Simón Bolívar. Sin su ayuda, no hubiese podido tener la oportunidad de trabajar para tan especial institución.

**Al Ing. Gerardo Fernández**, por confiar en mí y darme la oportunidad para trabajar con la agrupación de Mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar. A través de usted y la agrupación he crecido académica y profesionalmente. Estaré eternamente agradecido por la oportunidad.

**Al Msc. Wilmer Sanz**, por su apoyo total para la realización de este trabajo. Durante todo el proceso y a pesar de todos los obstáculos, siempre pude contar con su asesoría y consejo. Estoy inmensamente agradecido por su apoyo académico, moral y ánimo que siempre me ofreció como mi tutor.

**A la Lic. Elena Sequera**, gracias por su dedicación y esfuerzo en ayudarme desde el punto de vista metodológico. Su rigurosidad y pulcritud me permitieron trabajar como un verdadero investigador. Agradecido siempre por su asesoría y más aún por su preocupación por mi progreso y ánimo, hizo honor a su carrera.

**A mis compañeros de mecánica**, que me ayudaron a involucrarme en su área, para así tener éxito en este proyecto. Su ayuda y recomendaciones me permitieron avanzar rápido y seguro. Muchas gracias muchachos.

**A la promoción XLIII, Arturo, Daniel y Romero**, porque con ustedes libré incontables batallas, pasamos largas noches y madrugamos muchas mañanas para juntos cumplir esta meta. A ustedes un millón de gracias. Los quiero.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	pp.
<b>RESUMEN INFORMATIVO</b> .....	xi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específico.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Alcance.....	7
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	12
2.2.1 Operaciones de Búsqueda y Rescate.....	12
2.2.2 Robots.....	13
2.2.3 Robots de Búsqueda y Rescate.....	13
2.2.4 Tipos de Robots de Búsqueda y Rescate.....	15
2.2.5 Robots Reconfigurables.....	16
2.2.6 Robots Modulares.....	18
2.2.7 Componentes de un Robot.....	19
2.2.8 Simulación de Robots.....	22
2.2.9 Sistema Operativo Robótico.....	25
2.2.10 Plataforma de Experimentación de Robots Virtual.....	26
2.3 Bases Legales .....	28
2.4 Definición de Términos Básicos.....	29

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1	Tipo de Investigación.....	33
3.2	Diseño de Investigación.....	34
3.3	Nivel de Investigación.....	34
3.4	Población y Muestra.....	35
3.5	Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	35
3.5.1	Técnicas de Recolección de Datos.....	36
3.5.1.1	Revisión Documental.....	36
3.5.1.2	Observación Directa.....	36
3.5.1.3	Entrevista.....	36
3.5.2	Instrumentos de Recolección de Datos.....	37
3.6	Fases de la Investigación.....	38

### **IV RESULTADOS**

4.1	Fase I.....	40
4.1.1	Observación Directa.....	40
4.1.2	Revisión Documental.....	40
4.1.3	Entrevista a Experto .....	42
4.1.4	Conclusiones de Entrevista .....	48
4.2	Fase II.....	49
4.2.1	Estructura General .....	49
4.2.2	Mecanismo de Locomoción .....	52
4.2.3	Detección y Rango de Imágenes por Láser .....	54
4.2.4	Cámara .....	55
4.2.5	Medición de Temperatura .....	56
4.2.6	Medición de Gases .....	57
4.2.7	Energía y Motores .....	58
4.2.8	Control y Comunicaciones .....	61
4.2.9	Iluminación, Reconocimiento y Posicionamiento .....	62
4.2.10	Simulación .....	62
4.3	Fase III .....	68
4.3.1	Factibilidad Económica, Técnica y Operativa .....	68
4.3.2	Factibilidad Social y Ambiental .....	70

<b>CONCLUSIONES</b> .....	71
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	72
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	73
<b>ANEXOS</b> .....	77
<b>Anexo A.</b> Validación de contenido de guía de entrevista.	
<b>Anexo B.</b> Entrevista a experto del cuerpo de bomberos.	
<b>Anexo C.</b> Hoja de datos (parcial) del dispositivo Slamtec RPLIDAR A2M8.	
<b>Anexo D.</b> Hoja de datos (parcial) del dispositivo Intel RealSense D435i Camera.	
<b>Anexo E.</b> Hoja de datos (parcial) de la termocupla TempSENse tipo S.	
<b>Anexo F.</b> Hoja de datos (parcial) del convertor digital MAX31856.	
<b>Anexo G.</b> Hoja de datos del dispositivo Oxygen UV Flux.	
<b>Anexo H.</b> Hoja de datos del dispositivo AlphaSense.	
<b>Anexo I.</b> Hoja de datos de motores y cajas de transmisión Maxon, controlador Cytron.	
<b>Anexo J.</b> Hoja de datos de celdas LifePo4	
<b>Anexo K.</b> Hoja de datos (parcial) de Nvidia Jetson Nano y NodeMCU ESP32	
<b>Anexo L.</b> Hoja de datos del dispositivo GlobalSAT	
<b>Anexo M.</b> Tablas para evaluación de factibilidad económica	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>pp.</b>
1	Tareas de un robot en operaciones de búsqueda y rescate.....	15
2	Esquema de reconfiguración determinista.....	17
3	Esquema de reconfiguración estocástica.....	18
4	Sensor de temperatura y humedad pasivo .....	21
5	Representación gráfica de simulación de un sistema .....	24
6	Ejemplos de software de simulación .....	25
7	Captura de pantalla de VRE-P.....	27
8	Posibles configuraciones del robot .....	50
9	CAD de la primera versión del módulo robótico .....	51
10	CAD de módulo trapezoidal robótico .....	53
11	CAD del sistema de tracks simplificado .....	53
12	CAD de perfiles estructurales del sistema robótico .....	54
13	Dispositivo RPLIDAR A2M8 .....	55
14	Dispositivo RealSense Depth Camera D435i.....	56
15	Topología del sistema ROS en el robot .....	62
16	Ensamblado del modelo de vista en software Inventor .....	64
17	Ensamblado del modelo de vista en software V-REP .....	64
18	Ensamblado del modelo dinámico en software V-REP .....	65
19	Prueba de interfaz gráfica y movimiento .....	65
20	Escena de simulación de última prueba en software V-REP .....	66
21	Diagrama de flujo de control del robot en software V-REP .....	67
22	Prueba de sempeño en escena, en software V-REP .....	67
23	Vista del robot en escena de simulación, en software V-REP .....	68



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO PARA OPERACIONES  
DE BÚSQUEDA Y RESCATE. CASO: UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR,  
EDO. MIRANDA, VENEZUELA.**

**Autor:** Hermes Castellano

**Tutor:** MSc. Wilmer Sanz

**Fecha:** Julio 2020

**RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo la propuesta de diseño de un robot modular y cooperativo para su aplicación en situaciones de búsqueda y rescate de víctimas de desastres o situaciones de emergencia. El presente proyecto se encuentra dirigido por el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar. El sistema representa una herramienta útil para equipos que ofrezcan servicios de emergencia, debido a que permite salvaguardar la integridad tanto de los afectados como de los rescatistas, al no tener que arriesgar la vida de estos últimos en zonas de alto riesgo. Para el cumplimiento del objetivo principal, se diagnosticó la situación actual del cuerpo de bomberos de la Universidad Simón Bolívar y se determinaron los requerimientos mínimos y condiciones de trabajo del robot. Seguidamente, se diseñó de manera detallada la estructura del robot a través del software Inventor, para luego seleccionar los materiales, dispositivos y componentes que lo conforman. Para comprobar la eficacia de la propuesta se realizaron tres pruebas virtuales en el software de simulación V-REP, demostrando un correcto y adecuado funcionamiento en el ambiente virtual. Finalmente, se evaluó la factibilidad económica, técnica, operativa, social y ambiental del diseño propuesto, resultando de manera exitosa en cada uno de los aspectos.

**Descriptor:** robot modular, diseño de robots, simulación, búsqueda y rescate, servicios de emergencia.

## INTRODUCCIÓN

Un desastre es un hecho natural o provocado por la acción del hombre que afecta de manera negativa a las personas involucradas, poniendo en riesgo sus vidas y su sustento. Estos eventos generan con frecuencia cambios permanentes en la sociedad, los ecosistemas y el medio ambiente de la región específica en donde ocurren. Son ejemplo de esto, los desastres naturales que dependen de las condiciones climáticas de una región y ocurren de manera espontánea y aleatoria, como los terremotos o tormentas tropicales. De igual manera, sucesos provocados por el ser humano ya sean pre-meditados o no, como actos de violencia extrema, accidentes industriales o el derrumbe de edificaciones, son considerados desastres.

Durante los últimos años la ocurrencia de desastres naturales y provocados por el hombre se ha intensificado. Y para ello, la sociedad se ha encargado de formar equipos de individuos debidamente preparados para atender a las víctimas de dichos sucesos y ofrecer servicios de emergencia. El término búsqueda y rescate, define las operaciones llevadas a cabo por equipos de emergencia, civiles o militares, para encontrar a alguien perdido, enfermo o herido en áreas remotas o poco accesibles para el ser humano. Estas operaciones son realizadas en diferentes casos de desastre y requieren no solo de personal debidamente entrenado sino también de material e instrumentos adecuados. Conociendo la naturaleza de la labor de los equipos de rescate, se puede observar que sus miembros ponen en riesgo su integridad física y mental al ayudar y colaborar en el rescate de víctimas de situaciones de emergencia.

Ahora bien, con el avance de la tecnología, cada vez se diseñan más y mejores herramientas para su utilización por parte de rescatistas en casos de emergencia. Sin embargo, el diseño y uso de robots modulares en este campo no ha sido del todo explorado. La implementación de sistemas robóticos, controlados de manera remota, posterior a un desastre, podría representar una herramienta crítica en estas operaciones, pues permitiría la ejecución de acciones y obtención de información relevante sin la necesidad de arriesgar la vida de rescatistas en zonas de

peligro. La propiedad de modularidad, dejaría espacio para la adaptación y uso del robot en diferentes situaciones, sin tener que recurrir a otro sistema completo distinto.

En tal sentido, la presente investigación tiene como objetivo el diseño de un robot modular, cooperativo para procesos de búsqueda y rescate de víctimas. El proyecto se encuentra dirigido por el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar, Edo. Miranda, Venezuela.

Para el cumplimiento de este objetivo y siguiendo las líneas de la normativa de la Universidad José Antonio Páez para la presentación de trabajos de grado, la investigación se estructuró en cuatro (4) capítulos, tal como se describen a continuación:

**Capítulo I**, referido con la descripción y formulación del problema, seguidamente de la presentación de los objetivos que guiarán la investigación, luego se procede a la justificación y alcance de la misma.

**Capítulo II**, conformado por los antecedentes e investigaciones que tratan el mismo problema o se relacionan con la presente investigación. Se explican las bases teóricas y legales que son necesarias para la elaboración de esta investigación y en última instancia se definen los términos básicos.

**Capítulo III**, contiene todo lo referente al marco metodológico, como lo son el tipo y diseño de la investigación a utilizar para cumplir los objetivos del trabajo, el nivel de investigación, fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos, conjuntamente con la población y muestra. También se detallan las fases metodológicas diseñadas para cumplir con los objetivos específicos del trabajo.

**Capítulo IV**, describe los resultados luego de cumplir con cada una de las fases de la investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del Problema.**

Los desastres naturales son eventos repentinos e imprevistos que ocasionan daños, pérdidas y paralización temporal de actividades en cierta área, y que afectan a una parte importante de la población. Diversas condiciones favorecen la ocurrencia de desastres naturales, los cuales se asocian a pérdida de vidas y lesiones, deterioro de las condiciones de vida de las poblaciones (hacinamiento, intemperie), pérdida de bienes, daño e interrupción de los servicios básicos, daños en la infraestructura y destrucción del hábitat de animales. (Hijar, Bonilla, Munayco, Gutiérrez y Ramos; 2016).

Por otra parte, la ocurrencia de estos eventos no es aislada a una zona, pues pueden ocurrir en cualquier parte del mundo sin previo aviso. A pesar de ello, hay regiones de cada continente con mayor eventualidades que otros, debido a las condiciones geológicas, climáticas y meteorológicas de la misma. Ejemplo de ello son los países que pertenecen al anillo de fuego del Pacífico, una región delimitada en forma de anillo que reúne algunas de las zonas de mayor actividad sísmica y volcánica del mundo.

Al iniciar el 2020, la Organización de Naciones Unidas (ONU) publicó estadísticas que aseguran que América Latina y el Caribe son la segunda región más propensa a desastres naturales a nivel mundial. En esta misma publicación, la organización muestra resultados de la recolección de datos de desastres naturales ocurridos en la región entre los años 2000 y 2019, los cuales confirman las grandes repercusiones que pueden tener. Durante estos 20 años de muestreo han fallecido 226

mil personas por causa de terremotos y 5000 mil personas a causa de tormentas. Los dos fenómenos más mortales en estos resultados han causado pérdidas equivalentes a 93 mil millones de dólares.

Durante una amenaza natural, no solo corren riesgo los civiles involucrados, sino también la vida de los miembros de los equipos de rescate ante posibles derrumbes, sustancias nocivas o repeticiones de la catástrofe (Rivas, 2015). Por ende, se requiere que en todo momento se vele por la integridad de los miembros de equipos de rescate. Estos deben estar dotados con las mejores herramientas para poder salvar la mayor cantidad de vidas y disminuir así las consecuencias que conlleva un desastre natural.

Según Feuilherade (2017), el primer sistema robótico usado para colaborar en una operación oficial fue usado en el 2001, para ayudar a rescatar 10 personas que se encontraban en los escombros del ataque a las torres gemelas en Estados Unidos. Luego de ello, múltiples diseños han sido usados en otras situaciones de emergencia como el incidente nuclear en Fukushima del 2011, los terremotos de Haití en 2010 y de Nepal en 2015. Hasta el presente, se ha reportado oficialmente el uso eficaz de 50 robots en situaciones de desastre, sin embargo en el 2016 Robin Murphy, directora del Centro de Búsqueda y Rescate Asistido por Robots, en Texas, afirma que "...el impacto de los terremotos, huracanes e inundaciones está aumentando, por lo que también aumentará la necesidad de robots para todas las fases de un desastre, desde la prevención hasta la respuesta y la recuperación.

Desde un punto de vista local, Venezuela no queda fuera del panorama, más aún mantiene un gran riesgo ante eventos de esta naturaleza pues conclusiones de un trabajo estadístico coordinado por la Universidad Católica Andrés Bello (2014) concluyó que el 51% de la población venezolana se puede considerar expuesta a condiciones de alta o muy alta vulnerabilidad antes amenazas naturales.

En lo que respecta a la cantidad de personal calificado para realizar actividades de rescate, Venezuela presenta condiciones negativas. En un informe, el medio de comunicación Efecto Cocuyo (2019), determinó que durante los años 2017 y 2018 la deserción de personal calificado perteneciente al equipo de Protección Civil del municipio Chacao, en Caracas, fue del 40%. Un informe similar realizado por el mismo medio en el año 2018 demostró como, siguiendo la normativa internacional, la zona metropolitana de Caracas presenta un déficit de 2.330 bomberos calificados y no cuenta con los instrumentos, herramientas o insumos necesarios para llevar a cabo sus funciones. De esta forma, se observa como la zona metropolitana presenta una gran deficiencia en materia de equipos de rescate, disminuyendo las posibilidades de atender de manera adecuada un desastre natural.

Ante estas condiciones, es imperativo buscar elementos innovadores que mejoren la situación y permitan disminuir la vulnerabilidad de la población venezolana ante desastres naturales. El uso de robots en circunstancias de búsqueda y rescate pudiese ser una solución factible y óptima pues permiten reducir la presencia de personal calificado en zonas de alto riesgo y a su vez representan una herramienta valiosa capaz de proveer información importante de lo que sucede en tiempo real.

## **1.2 Formulación del Problema**

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se formula la siguiente interrogante: ¿ cómo se pueden optimizar las operaciones de búsqueda y rescate implementadas por el equipo de bomberos de la Universidad Simón Bolívar ?

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer el diseño de un robot modular-cooperativo para operaciones de búsqueda y rescate. Caso: Universidad Simón Bolívar, Edo. Miranda, Venezuela.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la situación actual de los equipos de búsqueda y rescate de la Universidad Simón Bolívar.
- Diseñar un modelo de robot modular-cooperativo para operaciones de búsqueda y rescate en la Universidad Simón Bolívar.
- Evaluar la factibilidad técnica, operativa, económica, social y ambiental para la implementación de la propuesta.

### **1.4 Justificación**

De acuerdo con Rivas (2015) cuando se produce una catástrofe hay situaciones que los humanos no pueden afrontar o no se pueden realizar de una forma segura. Es frecuente que las áreas afectada se caractericen por la cantidad de escombros, restos de acero, hormigón y polvo resultantes. El ambiente es oscuro y desorientador, lo que provoca que las estructuras no sean reconocibles. Es allí donde un robot modular, con la capacidad de adaptarse a su entorno podría ser útil y facilitar la búsqueda y rescate de víctimas de la catástrofe sin la necesidad de que los miembros de equipos de rescate arriesguen su vida a tales condiciones.

El mismo autor en el año 2015, recalca que la integración de estos robots en los equipos de emergencia está siendo lenta, porque la tecnología es nueva y todavía no se ha desarrollado fuertemente el concepto de operaciones de rescate, ni nuevos protocolos de acción, además de la falta de experiencia de los investigadores en tareas de rescate. Por ende, se observa una oportunidad para el desarrollo de herramientas nuevas que puedan hacer uso de la tecnología actual y atender las necesidades que se presentan en una situación de emergencia.

De esta manera, se propone el diseño de un robot modular, con capacidades de reconfiguración que pueda ser controlado de manera remota por un operador capacitado y que forme parte de operaciones en zonas de alto riesgo durante una

catástrofe. Al hacer uso de la tecnología actual, esta herramienta puede ser de gran apoyo pues permitiría tener acceso a espacios confinados donde un humano no pudiese entrar y obtener información relevante en tiempo real como visión, temperatura e incluso la identificación de víctimas y afectados. Una de las mayores repercusiones de su implementación es el resguardo de la integridad de los miembros de los equipos de rescate, pues al ser implementado, el robot tomaría el riesgo de entrar a zonas altamente afectadas por la catástrofe ocurrida, sin poner en peligro la vida de rescatistas.

Ahora bien, para el correcto diseño del robot descrito se considera crítico el aporte de parte del personal capacitado de los equipos de rescate locales para la identificación de sus necesidades en su labor. Así, el diseño propuesto respondería a estas necesidades y estaría en consonancia con el contexto regional. La presente investigación sirve de base para la construcción e implementación en un futuro de robots modulares en el contexto venezolano y responde a la línea de investigación de la facultad de ingeniería, escuela de Ingeniería Electrónica en su temática, sistemas digitales.

### **1.5 Alcance**

La presente investigación pretende llegar al diseño de un robot modular-cooperativo para operaciones de búsqueda y rescate. Para ello se debe responder a las necesidades que presentan los equipos de rescate actual, analizar el funcionamiento y resultados previos de robots diseñados para el mismo ámbito, diseñar el robot en cuestión y posteriormente comprobar el funcionamiento del modelo elaborado a través de la simulación del mismo en un entorno virtual.

Adicionalmente, previo acuerdo con la institución se puede planificar la prosecución del presente trabajo, el ensamblado del diseño y la futura implementación del mismo, lo cual constituye la finalidad ideal del proyecto.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

Toda investigación requiere de un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan comprender la naturaleza del hecho investigado y sustentar teóricamente el estudio. Según Ander-Egg (2005) es en el marco teórico donde “se expresan proposiciones teóricas generales, teorías específicas, postulados, supuestos, y conceptos que han de servir de referencia para ordenar hechos concernientes al problema motivo de la investigación”. De esta manera, se puede sintetizar en un estudio documental y bibliográfico donde se recopilan conceptos, definiciones e ideas que sirven de base a la investigación a realizar.

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

Los antecedentes de la investigación son todos aquellos trabajos previos que están relacionados directa o indirectamente al trabajo de estudio. Tamayo (2004) los define como todo hecho anterior a la formulación del problema, que sirve para aclarar juzgar e interpretar el problema planteado. De esta manera, un antecedente no necesariamente debe ser un trabajo de investigación, para que este represente un aporte al proyecto. Además, el estudio de los antecedentes permite conocer las vías por las cuales se ha abordado el problema y comparar los resultados obtenidos para encaminar la investigación.

Pfotzer, Ruehl, Heppner, Roennau y Dillmann (2014) presentaron durante la conferencia internacional de robótica de la IEEE, la investigación que lleva por título: **Kairo 3, un robot modular, reconfigurable para misiones de búsqueda y rescate.**

Dicha investigación se realizó con la cooperación del Centro de Investigaciones de Tecnología de Información FZI en Karlsruhe-Alemania y se centró en la evolución y mejora de diseños previos del robot KAIRO, destinado a representar una herramienta útil y activa en misiones de búsqueda y rescate. El proyecto se encuentra enmarcado dentro de la categoría de proyecto especial pues se centra en el diseño, ensamblado e implementación de un producto tecnológico tangible.

Como resultado, se obtuvo un robot inspirado en la forma de una serpiente, conformado por 6 módulos motrices y 5 módulos de unión mecánica, con la capacidad de subir escaleras, sobrepasar obstáculos, trasladarse a lo largo de tuberías y pequeñas aberturas, a través de navegación manual. Su capacidad de reconfiguración viene dada por la posibilidad de alterar el tamaño del robot según la cantidad de módulos que se deseen usar o la implementación de módulos funcionales en paralelo, es decir, posee un método de reconfiguración manual.

Al finalizar la investigación, considerando los avances realizados con respecto a diseños previos, se concluyó que los robots destinados a misiones de búsqueda y rescate son más flexibles y útiles en múltiples tareas en la medida que estos puedan ser reconfigurados y tengan capacidad de adaptación. El diseño modular es la herramienta que permite que las partes del robot sean fácilmente intercambiables y pueda ocurrir la reconfiguración. Más aun, permite la estandarización y extensión del robot en el futuro.

De esta manera, queda evidenciada la relevancia de la modularidad y la posibilidad de reconfiguración en el diseño de robots que estén destinados a ser usados en operaciones de búsqueda y rescate. Se considera además la oportunidad de mejora del diseño expuesto con la inclusión de un método de reconfiguración automático, que permita que el robot pueda adaptarse a distintas tareas o situaciones sin la presencia de un humano.

Por su parte, Cordie, Bandyopadhyay, Roberts, Dunbabin, Greenop, Dungavell, Stein (2019) llevaron a cabo una investigación en conjunto con la Universidad de Queensland de Tecnología en Brisbane-Australia, titulada: **Implementación de robot modular de campo para la inspección de edificaciones dilapidadas**. Su objetivo general fue implementar el diseño de un sistema llamado NeWheel en sus diferentes configuraciones así como verificar su funcionamiento en campo. Su modalidad recibe la denominación de investigación de campo, debido a que busca la recolección de datos de manera directa de la realidad, acerca de la implementación de un robot previamente diseñado y con características bien definidas.

Ahora bien, las pruebas del NeWheel permitieron concluir que el uso de ruedas sencillas y la configuración de movilidad en triciclo no son óptimas y requieren de un diseño específico para su uso, pues provocaron el redireccionamiento y posterior paralización del robot al estancarse con huecos y orificios en la superficie del terreno donde se realizó la prueba. De igual manera, el sistema no tiene la capacidad de subir escaleras o sobrepasar obstáculos en su configuración triciclo y al no tener un método de reconfiguración automático, este requirió de la asistencia humana para su reconfiguración a modo estrella. Por otra parte, el tamaño del robot y la ausencia de un control de bajo nivel que, por ejemplo permitiese controlar cada rueda de manera independiente, hizo necesaria la realización de constantes maniobras para alinear el robot con las puertas y pasillos del edificio. También, se evidenció la necesidad de incorporar la habilidad de regresar a la posición del tele-operador en caso de perder la señal con este, ya que durante las pruebas se enfrentaron problemas de conectividad, haciendo que el sistema quedara aislado en una de las zonas de peligro designadas, sin posibilidades de ser extraído sin arriesgar la vida de algún rescatista.

Ante lo anterior expuesto, la investigación representa una fuente importante de características que deben ser tomadas en cuenta para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación. Las evidencias obtenidas con el NeWheel demuestran como es necesario incorporar un método de traslado que permita que el robot sobrepase obstáculos y escaleras de manera sencilla, sea capaz de moverse en terreno desconocido y no se atasque durante el proceso. Se debe tomar en cuenta el tamaño final del robot para asegurar que este pueda ser maniobrable en el interior de edificios o espacios confinados. Además, debe considerarse la posible programación, en un futuro, de mecanismos de extracción ante una posible desconexión o pérdida de comunicación inalámbrica con el equipo de rescate.

Así mismo, Wang, Liu y Li (2004) realizaron un trabajo de investigación con el Instituto de Automatización Shenyang en Shenyang-China que se tituló: **Autonomía A-B de un robot de cambio de forma “AMOEBIA-I” para búsqueda y rescate urbano (USAR, en inglés)**. La investigación se encuentra dentro de la modalidad proyecto de campo, debido a que está centrada en la evaluación de la autonomía y capacidad de moverse del robot de un punto A hacia un punto B. El robot AMOEBA-I es un robot previamente diseñado, formado por 3 módulos con la capacidad de reconfigurarse en nueve modos de manera autónoma, haciendo uso de correas oruga en su método de locomoción lo cual aumenta significativamente su tracción.

Con los resultados obtenidos, los autores concluyen que la utilización de orugas en el diseño de robots destinados a operaciones de búsqueda y rescate es ideal, pues otorgan no solo tracción, sino un aumento en la movilidad y capacidad de evadir obstáculos en terreno desconocido. AMOEBA-I hace uso de uniones mecánicas pasivas entre sus 3 módulos, lo que permite la reconfiguración del robot sin la necesidad de desconectar y conectar. Este método permite una reconfiguración rápida con un menor consumo de potencia. A esto se le suma, la capacidad de usar los

sensores que tiene incorporado el sistema de control para la correcta planificación de movimiento al encontrarse con obstáculos o terreno irregular. El robot demostró ser capaz de usar sus sensores de posición y proximidad, cambiar su forma a una configuración óptima y más estable para sobrepasar el obstáculo y alcanzar el punto de destino.

El proyecto expuesto representa un punto importante para la investigación pues aporta información relevante en cuanto a la utilización de recursos mecánicos en el diseño de los robots para búsqueda y rescate, como lo son el uso de correas oruga en la locomoción y la implementación de un método de reconfiguración óptimo. La medida de la autonomía del robot se vinculó directamente a la utilización de sus sensores para detectar su entorno y adaptarse para poder llegar a su ubicación objetivo.

## **2.2 Bases Teóricas**

El diseño de robots es un área de la ingeniería que conlleva años de evolución y mejoras, haciendo uso de la tecnología que se desarrolla día a día y adaptándose a las necesidades de la sociedad. Se observa entonces al iniciar el proyecto investigativo la necesidad de desarrollar de manera descriptiva los conceptos necesarios para poder comprender el estado actual de dicho ámbito. Arias (2012) define las bases teóricas como el “desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. Es necesario entonces reunir el conjunto de teorías que brinden un apoyo inicial y amplíen la descripción del problema.

### **2.2.1 Operaciones de Búsqueda y Rescate**

Actualmente, las operaciones de búsqueda y rescate, también conocidas como SAR del inglés “Search and Rescue”, son descritas de manera oficial por la convención internacional marítima de operaciones de búsqueda y rescate, que se llevo a cabo en 1979 en Hamburg, Alemania. Esta convención define búsqueda como una

operación normalmente coordinada por un centro o sub-centro de rescate, usando personal y facilidades disponibles para localizar personas en estado de peligro. Por otro lado, rescate, viene definido por una operación que tiene el objetivo de recuperar a una persona en peligro, proveer de atenciones medicas iniciales, necesidades criticas y trasladarlos a una ubicación segura.

Bryant C. (2008) describe que las operaciones SAR, son mucho mas que lo que se ve en las noticias y es un servicio de emergencia extenso realizado por personal altamente capacitado y especialista de las fuerzas armadas, fuerzas de la ley locales y civiles voluntarios. A estos grupos se le suman además agrupaciones de protección civil y bomberos.

### **2.2.2 Robots**

El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) (2020) define a un robot como “una máquina autónoma capaz de evaluar su entorno, realizar computaciones para tomar decisiones y llevar a cabo acciones en el mundo real”. De esta manera un robot, no es simplemente un sistema electrónico que realiza una función especifica, sino que debe poseer los componentes necesarios para tomar información de lo que le rodea y tomar decisiones basado en esa información recolectada. Por otra parte se debe destacar que no importan las dimensiones, si el sistema cumple con las funciones descritas, este puede ser considerado un robot.

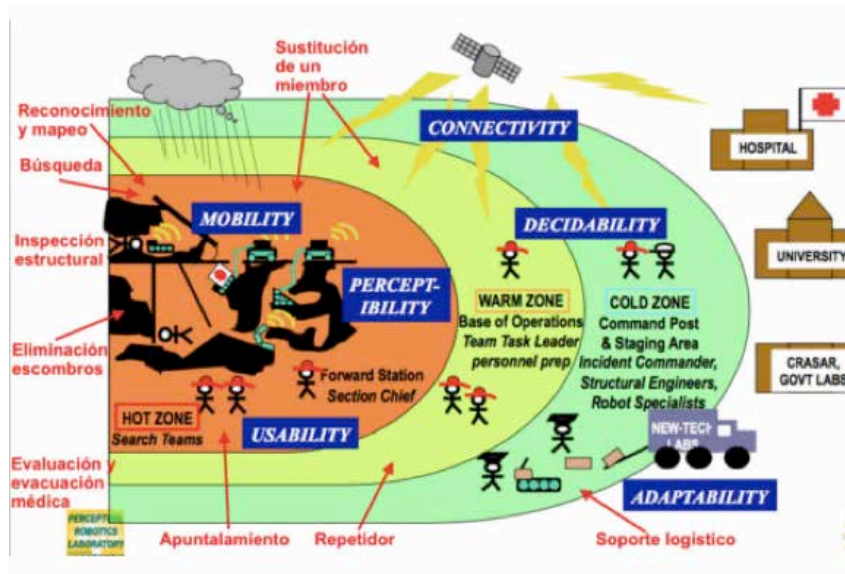
### **2.2.3 Robots de Búsqueda y Rescate**

De manera similar la IEEE determina una clasificación para robots según su función en robots aeroespaciales, de consumidores, de búsqueda y rescate, drones, educación, exoesqueletos, humanoides, industriales médicos, militares, de investigación, tele-presencia y submarinos. Murphy, Tadokoro, Nardi, Jacoff, Fiorini y Choset (2008) definen los robots de búsqueda y rescate como aquellos que sirven como extensión para los rescatistas durante o luego de un desastre, ofreciendo una visual en tiempo real y datos relevantes de lo que esta ocurriendo en el momento. A

pesar de que su diseño es similar estos difieren de los robots militares en los patrones de interacción humano-robot en su operación y acción. Las tareas que puede realizar un robot de rescate pueden ser vistas en la Figura 1 y son:

- **Búsqueda:** actividad enfocada en interiores de estructuras, cuevas, túneles o al aire libre que busca encontrar víctimas o posibles amenazas. Su motivación es la velocidad y eficiencia sin arriesgar más la vida de víctimas ni rescatistas.
- **Reconocimiento y Mapeo:** tarea más amplia que una búsqueda que tiene el objetivo de ofrecer al rescatista una perspectiva más general de lo que está ocurriendo en una larga extensión de terreno. La idea es obtener una cobertura rápida con la resolución apropiada.
- **Manipulación de Escombros:** consiste en la remoción de escombros que pueden ser muy pesados para un humano.
- **Inspección Estructural:** ya sea en el interior o exterior, permite que rescatistas puedan evaluar de manera remota la integridad de una estructura.
- **Asistencia Médica:** permite que personal médico pueda entrar en contacto de manera remota con víctimas y en ciertos casos asistirlos.
- **Evacuación:** consiste en la extracción de víctimas o afectados.
- **Repetición de Señal:** funcionando como repetidor de señal el robot aumenta el rango de acción de otros robots, la comunicación con rescatistas y la posibilidad de ubicarse entre sí.
- **Sustitución de personal:** la presencia de un robot que transmita audio y video desde una zona de alto riesgo en conjunto con personal calificado, permite disminuir la cantidad de personas dentro de la zona de peligro.
- **Puntal:** consiste en sostener escombros o parte de estructuras que pudiesen caer por causa del desastre ocurrido.

- **Soporte Logístico:** tarea que se limita a la automatización del transporte de equipos e insumos desde áreas de almacenamiento a las zonas de distribución.



**Figura 1.** Tareas de un robot en operaciones de búsqueda y rescate.

Fuente: Rivas (2015)

#### 2.2.4 Tipos de Robots de Búsqueda y Rescate

Murphy, et al. (2008) definieron diferentes tipos de robots de búsqueda y rescate según el medio donde toman acción y su tamaño:

- **Según su Medio de Acción:**
  - **Terrestres no Tripulados:** aquellos que se trasladan sobre el terreno y pueden llevar a cabo tareas de asistencia directa como visualización de víctimas.
  - **Aéreos no Tripulados:** robots que sobrevuelan las zonas de catástrofe y ofrecen una visión extensa de lo sucedido.
  - **Marinos y Sub-marinos no Tripulados:** al igual que los terrestres llevan a cabo tareas de asistencia directa, solo que durante o luego de desastres ocurridos en presencia de masas de agua como inundaciones o tifones.

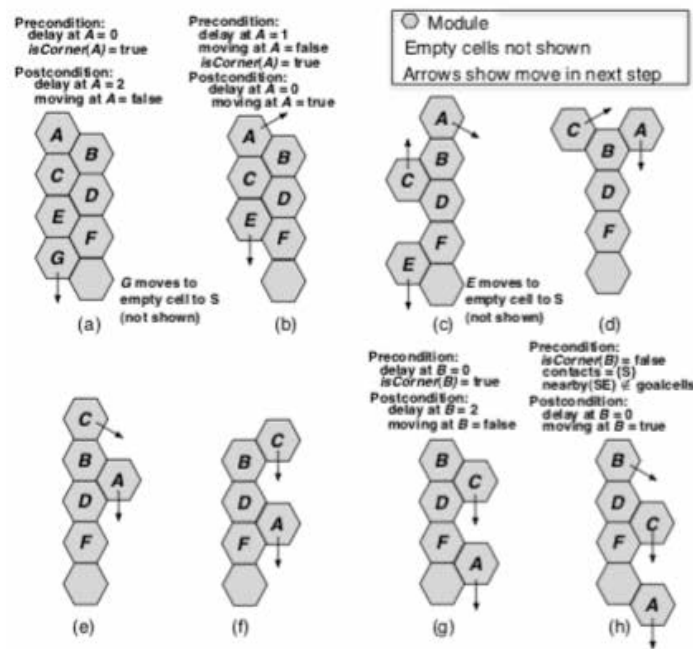
- **Según su Tamaño:**

- **Empacable:** cuando el sistema del robot completo, incluyendo baterías, controles, periféricos y herramientas, pueden ser guardados y trasladados en uno o dos bolsos. Generalmente, este tipo de robot se usa inmediatamente luego de un catástrofe, ya que los rescatistas pueden llevarlos consigo en su labor.
- **Portable:** clasificación correspondiente a robots de mayor tamaño que requieren de ser trasladados por dos personas o haciendo uso de un vehículo. Generalmente son usados luego de que el acceso a zonas de peligro mejora o en zonas seguras para logística.
- **Maxi:** son los robots más grandes, requieren de una logística de transporte especial y son usados fuera de las zonas de peligro, excepto aquellos que cumplen funciones de asistencia a daños estructural graves o remoción de escombros.

### 2.2.5 Robots Reconfigurables

Dentro de las denominaciones que reciben los robots esta la categoría reconfigurable, que es definida por Yim, Shen, Salemi, Rus, Moll, Lipson, Klavins y Chirikjian (2007) como aquellos robots que más allá de poseer propiedades sensoriales, de actuación y control como cualquier robot de morfología fija, estos pueden alterar su propia forma deliberadamente, reordenando la conexión de sus partes. El proceso de reconfiguración es realizado con la intención de adaptarse a nuevas circunstancias, llevar a cabo nuevas actividades o recuperarse de algún daño causado en la configuración inicial del sistema. A lo largo de las últimas dos décadas este campo ha avanzado de pruebas de conceptos a productos finales que son implementados en campo. Con su evolución, los robots reconfigurables han adquirido una clasificación según la forma en como sus partes se mueven para alterar su configuración. Estos pueden tener:

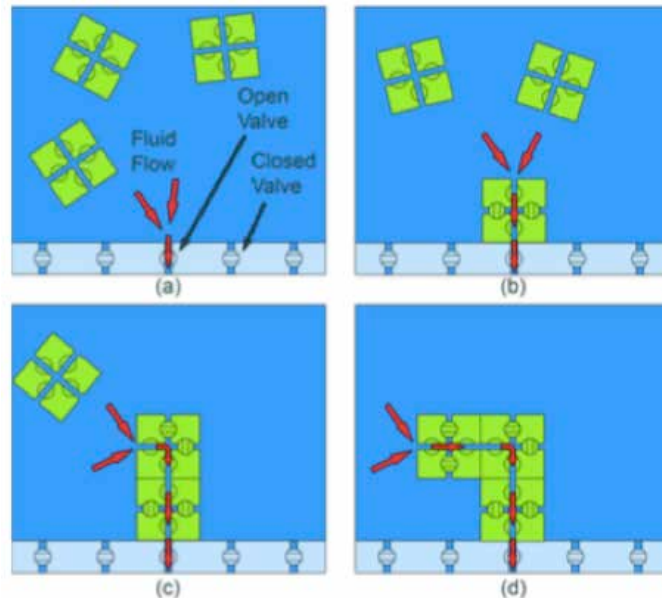
- Reconfiguración Determinista:** proceso que depende del movimiento de cada una de las partes y su manipulación directa hasta alcanzar una ubicación objetivo durante la reconfiguración. La posición exacta de cada unidad es conocida en todo momento o puede ser calculada durante la ejecución. Requiere de control a lazo cerrado para asegurar una manipulación de las unidades de manera precisa. Este tipo de configuración es favorable en sistemas a macro-escala. Un esquema de configuración determinista puede ser visto en la Figura 2.



**Figura 2.** Esquema de reconfiguración determinista.  
Fuente: Wong, Walter (2013)

- Reconfiguración Estocástica:** reconfiguración que se basa en el movimiento de las unidades haciendo uso de procesos estadísticos. La ubicación de cada unidad es conocida solo cuando esta se acopla a la unidad central o principal, luego de moverse siguiendo un camino desconocido entre posiciones. En este tipo de reconfiguración es usualmente el ambiente donde se encuentran las unidades del robot, el que ofrece la energía para transportarlos, por ende es

favorable el uso de este método en sistemas a micro-escala. Un ejemplo de configuración estocástica puede ser apreciado en la Figura 3.



**Figura 3.** Esquema de reconfiguración estocástica.  
Fuente: Tolley, Hiller, Lipson (2011)

### 2.2.6 Robots Modulares

Los robots modulares, como su nombre lo indica, están contruidos por módulos individuales, Yim, et al. (2007) los definen como todos aquellos que están compuestos por múltiples bloques de relativamente pequeño tamaño, unidos de manera uniforme a través de interfaces de acople que permiten la transferencia de fuerzas mecánicas, momento, energía eléctrica y señales de comunicación a lo largo del robot. Los bloques que componen a un robot modular, usualmente consisten de una unidad o bloque principal al cual se le pueden añadir potencialmente unidades especializadas como agarraderas, ruedas, cámaras o almacenamiento de energía. La separación de funciones a lo largo del robot en distintos módulos permite que estos puedan ser mejorados en el tiempo de una manera sencilla, al poder intercambiar bloques o incluir cada vez más de ellos.

Los robots modulares pueden ser clasificados según su arquitectura de construcción, tomando en cuenta la geometría de sus unidades en robots de:

- **Arquitectura Enrejada:** son aquellos robots donde sus unidades se encuentran organizadas y conectadas formando un patrón tridimensional regular como un simple cubo o un hexágono. Esta arquitectura ofrece facilidades para la reconfiguración del robot puesto que las unidades solo deben moverse en un grupo discreto de posiciones cercanas, que pueden ser alcanzadas con movimiento en lazo abierto.
- **Arquitectura Cadena/Árbol:** sistemas compuestos por bloques interconectados formando una topología de cadena o árbol. Este tipo de diseño de robots puede potencialmente alcanzar cualquier punto u orientación en el espacio y aunque son versátiles, pueden llegar a ser más difíciles de analizar y controlar.
- **Arquitectura Móvil:** tipo de arquitectura donde las unidades del robot hacen uso de materiales y aspectos de su entorno para formar una arquitectura de cadena o reja compleja.

### 2.2.7 Componentes de un Robot

Todo sistema es descrito a través de los elementos que lo componen, Kalil y Dombre (2006) describen a un robot como una máquina compuesta por un esqueleto mecánico, actuadores, sensores, un controlador y un sistema de comunicación, que representan los elementos del sistema y permiten que éste cumpla el objetivo para el cual fue diseñado. Cada uno de estos elementos juega un rol importante en el desempeño del robot y la adecuada elección de dichos componentes es crítica en el diseño del mismo.

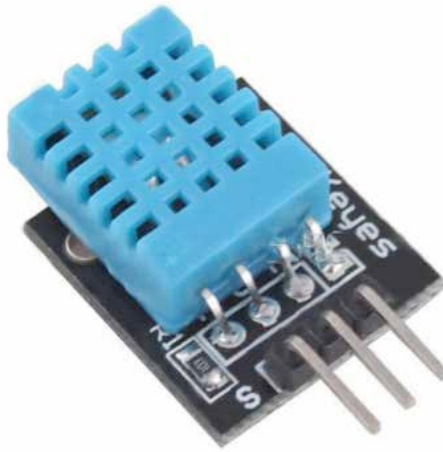
El esqueleto mecánico de un robot, no es más que una estructura mecánica articulada, manipulada por elementos llamados actuadores que transmiten su movimiento a las articulaciones de la estructura a través de un sistema de transmisión. Este último, es usualmente compuesto por engranajes y correas de transmisión

mecánica que permiten transmitir potencia mecánica a lo largo del robot. Dentro de la estructura mecánica del robot también se encuentran las articulaciones, partes móviles dentro de la estructura y que causan movimiento relativo entre dos partes rígidas.

En este mismo orden de ideas, Díaz y Dorador (2009) definen a los actuadores como aquellos dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquido, energía eléctrica o gaseosa. Según esta definición, se separan entonces 3 categorías de actuadores: hidráulicos, eléctricos y neumáticos. Estos dispositivos son los que producen la potencia mecánica en un sistema robótico. Ejemplos de estos dispositivos pueden ser vistos en la Figura .

Con respecto a los sensores, estos son la parte que permite que un robot pueda interactuar con su entorno, pues es a través de ellos que el sistema evalúa y toma datos del mismo. Serna, Ros y Rico (2010) definen a los sensores como los dispositivos electrónicos capaces de obtener información de ciertas variables que rodean al robot, para procesarla y así generar respuestas ante esta información o activar procesos. Los sensores imitan la capacidad de percepción del hombre y es por eso que se encuentran sensores relacionados a cada sentido, como pueden ser las cámaras, que imitan la función del ojo humano.

Se pueden encontrar sensores que reaccionan a la presencia de luz, sonido, presión, temperatura, gas, humedad, sensores que miden velocidad, proximidad, magnetismo, entre otros. Atendiendo a su funcionamiento, los sensores pueden ser clasificados como pasivos, si requieren de una fuente externa de energía eléctrica para funcionar correctamente o activos, cuando generan señales representativas de las magnitudes a medir y las propias condiciones del entorno permiten su funcionamiento (no requieren energía eléctrica). Para un ejemplo de ello ver Figura 4.



**Figura 4.** Sensor de temperatura y humedad pasivo.  
Fuente: K-Technics Solutions (2020)

Por otra parte, los controladores son la unidad de procesamiento del sistema y es la que controla la ejecución de tareas específicas que culminan en el cumplimiento de objetivos. Los controladores trabajan de manera periódica, ejecutando algoritmos programados previamente y generando las señales de entrada que controlan a los actuadores. Estas señales son modeladas como funciones matemáticas que dependen de las instrucciones del operador y la información recolectada por los sensores del sistema. La capacidad de procesamiento del controlador determina la velocidad de reacción y cantidad de tareas que el robot puede ejecutar de forma simultánea.

Seguidamente, se tiene el sistema de comunicaciones del robot, que permite el correcto intercambio de información entre las partes del robot y el operador del mismo. Fields (2013) explica que debido a las limitantes que ofrece la comunicación cableada con respecto a la movilidad de un robot, estos requieren de sistemas de comunicación inalámbrica eficientes que permitan transmitir datos en tiempo real y asegurar la correcta operación del sistema. Dentro de los distintos tipos de comunicación inalámbrica se tienen:

- **Comunicación por Radiofrecuencia:** tipo de comunicación que se lleva a cabo haciendo uso de ondas de radio, causadas por el movimiento de campos eléctricos y magnéticos. Hace uso del espectro radioeléctrico el cual posee propiedades específicas para cada banda de frecuencia. Dentro de este tipo de comunicación existen diferentes tecnologías y protocolos usados ampliamente en robótica, donde destacan:
  - **Bluetooth:** protocolo de comunicación basado en redes inalámbricas de área personal para la transmisión de voz y datos entre dispositivos cercanos. Posee 4 clases según la potencia de transmisión y alcance de la señal y 5 versiones según la velocidad de transmisión (ancho de banda).
  - **ZigBee:** conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para ser usado en radiodifusión de bajo consumo. Permite la comunicación segura de datos a un consumo de potencia eléctrica mínimo.
- **Comunicación Ultrasónica:** comunicación a través del agua con la manipulación de ecos de sonar. Este tipo de comunicación es útil únicamente en aplicaciones submarinas, debido al poco alcance de las ondas de radio en el agua.
- **Comunicación Láser:** también denominada óptica, es la comunicación a través de la propagación de la luz (visible o infrarroja) para transmitir datos de un punto a otro.

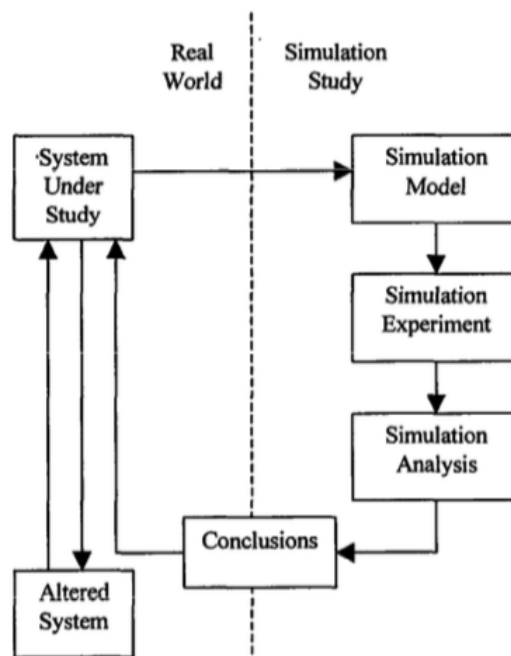
### 2.2.8 Simulación de Robots

perjudicarlo en el proceso y realizar evaluaciones en cuatro dimensiones, controlando el tiempo que transcurre de la simulación.

Las simulaciones son realizadas antes de que un sistema sea alterado o construido para reducir posibles fallas, eliminar cuellos de botella, sobre-utilización de recursos y optimizar el rendimiento del mismo. Los pasos necesarios para la realización de un estudio de simulaciones es detallado por Maria (1997) de la siguiente manera:

- a. Identificar un problema
- b. Formulación del problema
- c. Recopilar y procesar información real del sistema
- d. Formular y diseñar un modelo
- e. Validar el modelo
- f. Documentar el modelo para uso futuro
- g. Seleccionar un diseño experimental adecuado
- h. Establecer condiciones experimentales para las ejecuciones
- i. Ejecución de simulaciones
- j. Interpretar y presentar resultados
- k. Recomendar un futuro curso de acción

Sin embargo, el mismo autor, resalta que en ciertos casos no todos los pasos son posibles y/o requeridos o se deben añadir sub-tareas que ataquen necesidades específicas. Por su parte, para el desarrollo del modelo, se necesita saber las unidades que componen el sistema, sus variables de entrada, las mediciones de rendimiento críticas y las funciones relacionales entre cada unidad del sistema. El número de pruebas que se realizan en el estudio de simulaciones debe ser igual o mayor que la cantidad de preguntas acerca del modelo, de las cuales se desea obtener una respuesta. El esquema de un estudio de simulaciones puede ser visto en la Figura 5.



**Figura 5.** Representación gráfica de simulación de un sistema.

Fuente: Maria (1997)

Ahora, las simulaciones son una herramienta multidisciplinaria que puede ser usada en todas las áreas de investigación de ingeniería y ha sido importante en el

características, estructura y funciones de un sistema robótico en distintos niveles de detalle, haciendo que a medida que aumente la complejidad del sistema bajo investigación, más importante se vuelva su simulación. De hecho, aumentando la simulación con instrumentos de visualización e interfaces, se puede simular la operación del sistema robótico de una manera realista. Con el paso del tiempo, herramientas de simulación enfocadas en robótica han sido desarrolladas, permitiendo el diseño de estructuras mecánicas, sistemas de control, sistemas de programación off-line y la ejecución de pruebas. Ejemplos de software de simulación son mostrados en la Figura 6.



**Figura 6.** Ejemplos de software de simulación.

Fuente: Castellano (2020)

### **2.2.9 Sistema Operativo Robótico (ROS)**

Koubaa (2016) define al sistema operativo robótico (ROS, por sus siglas en inglés) como un middleware de código abierto para el desarrollo de sistemas robóticos complejos a gran escala. En él se concentran una serie de herramientas virtuales, librerías y convenciones que apuntan a simplificar la creación de robots complejos y robustos a través de una amplia variedad de plataformas de robótica. Desde sus inicios, ROS fue concebido para promover el desarrollo de software en robótica de manera colaborativa, permitiendo que grupos de investigación con distintos enfoques, distribuidos en todo el mundo, puedan compartir sus resultados y más aun, apoyar a otros grupos de investigación a desarrollar sus proyectos haciendo uso de dichos resultados.

La arquitectura de ROS, permite diseñar sistemas basados en paquetes, que no son más que grupos de nodos donde se procesan datos. Estos nodos se pueden comunicar entre sí, sin importar su paquete contenedor. La correcta dirección y comunicación de cada nodo se realiza gracias a su directorio denominado ROS-Master y el diseño de tópicos y servicios, hilos de interacción definidos por el tipo de información que se transmite y los nodos que conecta.

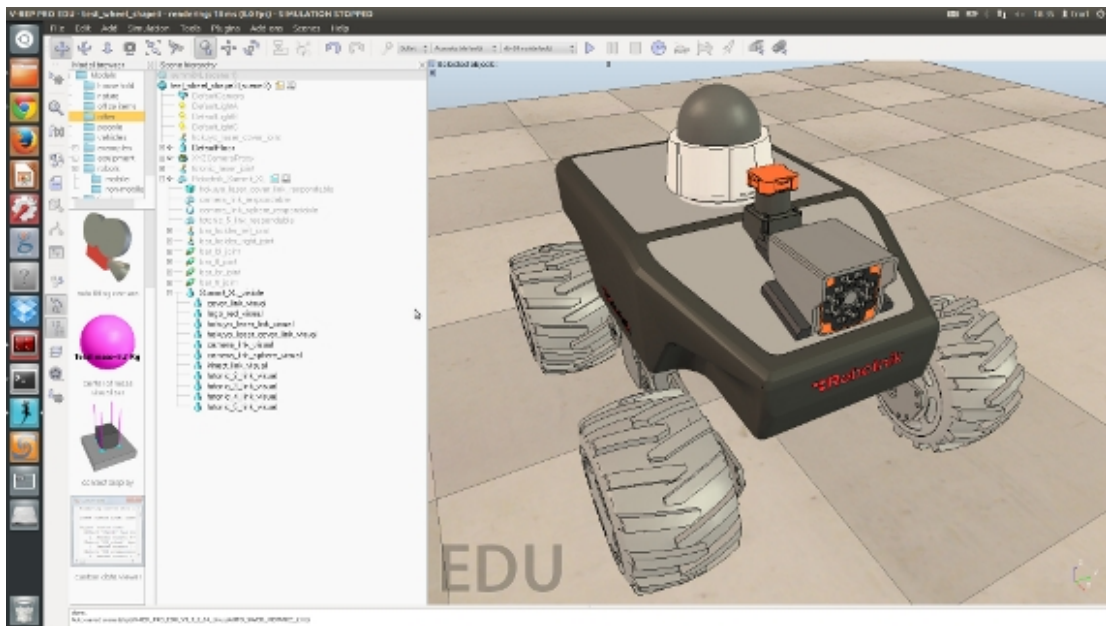
El uso de ROS por grupos de investigación es amplio a nivel mundial. Cousins (2011) demostró que para el año 2011, existían más de 1500 paquetes de ROS, que representan unidades de código básico y más de 60 repositorios, que corresponden directamente a la cantidad de instituciones contribuyendo de manera permanente con paquetes de código abierto a la comunidad de ROS. La gráfica de los datos obtenidos por el autor mencionado, demuestran el crecimiento exponencial del uso de esta herramienta.

#### **2.2.10 Plataforma de Experimentación de Robots Virtual (V-REP)**

Tal como describe Nogueira (2014), V-REP es un software simulador de robótica desarrollado por la empresa Coppelia Robotics, en Zúrich-Suiza. Es uno de los software más usado en el diseño de robots gracias a sus propiedades intuitivas, versatilidad y escalabilidad. Las herramientas que incluye por defecto como la posibilidad de modificar modelos tridimensionales pertenecientes al entorno virtual o al robot actual y la moderada demanda de CPU durante su funcionamiento lo convierten según el último autor, en la mejor opción, por encima de otros software como WeBots o Gazebo. El uso de V-REP requiere de la integración con ROS, sin embargo esto no representa mayor dificultad debido a la existencia de complementos instalables (plug-ins) que facilitan la tarea al usuario.

Coppelia Robotics, recomienda el uso del software V-REP a través del sistema operativo Ubuntu, basado en Linux, debido a su capacidad de aprovechamiento de recursos de hardware y libertad de uso. Implementando este

marco de trabajo el uso del software mencionado no solo es eficaz en el proceso de simulación sino óptimo si se siguen los consejos del desarrollador. Una captura de pantalla del uso de V-REP puede ser vista en la Figura 7.



**Figura 7.** Captura de pantalla de VRE-P.

Fuente: Castellano (2020)

Desde un punto de vista técnico, V-REP puede ejecutar el código de control de la simulación de 3 maneras distintas: de manera remota en otra máquina (haciendo uso de comunicación serial, sockets...), en la misma máquina pero en un proceso distinto al ciclo de simulación y en la misma máquina dentro del mismo proceso del ciclo de simulación. Por otra parte, el simulador también permite al diseñador escoger entre varias técnicas de programación que pueden ser implementadas de manera simultánea, estas son:

- **Scripts Embebidos:** programados por Lua, representan el ciclo de código principal que controla la funcionalidad general de toda la simulación.

- **Add-ons:** scripts también programados en Lua, pero que cumplen una función específica.
- **Plug-ins:** registro de comandos en Lua, que permiten extender la funcionalidad de un modelo simulado u objeto. A través de los plug-ins se agregan importan funciones, unidades de código e interfaces diseñadas fuera de V-REP, como por ejemplo ROS.
- **Cliente API:** conexión con una API de manera remota, que puede ser embebida en sistemas robóticos. A través de un servidor de servicio de API, se puede realizar una interacción cliente-servidor con ciertas plataformas.
- **Nodos ROS:** a través de un plug-in, V-REP es capaz de integrarse con ROS, responder a sus comandos e intercambiar información.

### 2.3 Bases Legales

A continuación, se presenta el marco legal que sustenta la estructura jurídica de la presente investigación. La normativa vigente en Venezuela relacionada con el diseño de tecnologías de la información viene contenida en la Ley Especial Contra los Delitos Informáticos (LECDI) decretada por la Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela en el año 2001. De manera similar, la normativa relativa a las acciones destinadas a la protección civil de la ciudadanía esta descrita en la Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres, decretada por el presidente de la república en mandato durante el año 2001.

La LECDI en su artículo 10 describe la penalización por posesión o prestación de servicios de sabotaje de la siguiente manera:

Quien importe, fabrique, distribuya, venda o utilice equipos, dispositivos o programas; con el propósito de destinarlos a vulnerar o eliminar la seguridad de cualquier sistema que utilice tecnologías de información; o el que ofrezca o preste servicios destinados a cumplir los

mismos fines, será penado con prisión de tres a seis años y multa de trescientas a seiscientas unidades tributarias. (p. 3).

De manera similar, el artículo 11 relacionado al espionaje informático, establece que toda persona que de manera indebida obtenga y/o difunda información crítica de un sistema de información o cualquiera de sus componentes será penada con prisión. Ambos artículos descritos persiguen la protección de la sociedad ante el posible uso de la tecnología con intenciones de perjudicar a una población. La presente investigación toma en cuenta estas disposiciones para asegurar que los resultados que se obtengan de la misma no correspondan a los sistemas descritos por la ley ni puedan ser usados directamente para cometer los delitos descritos.

Con respecto a la organización de protección civil venezolana, en su normativa vigente, artículo 23, se establece que “todos los ciudadanos y las ciudadanas están en el deber de incorporarse activamente en el desarrollo de acciones y programas orientados a la autoprotección y a la formación ciudadana ante desastres.” (p. 8). Por lo cual, se justifica la acción de buscar alternativas innovadoras que promuevan la disminución de la vulnerabilidad que presenta la población ante situaciones de desastre.

## **2.4 Definición de Términos Básicos**

**Add-on:** programa informático que aumenta las funciones de otro. En V-REP se diferencia de los plug-ins únicamente en que los add-ons solo pueden ser escritos en Lua como funciones o scripts.

**Autonomía:** capacidad de un robot para mantener un comportamiento específico o realizar tareas sin la intervención de un operador o agente externo.

**Carga Útil:** peso total que el robot puede cargar o soportar.

**Cinemática:** arreglo de partes rígidas y articulaciones que determina los posibles movimientos del robot.

**Código Abierto:** modelo de desarrollo de software basado en la

colaboración abierta. Se enfoca en los beneficios prácticos de hacer público el acceso al código fuente de un software.

**Configuración:** estructura, forma y funcionalidad que posee un robot. Los robots reconfigurables poseen más de una configuración.

**Diseño Conceptual:** obtención de la solución a un problema de diseño planteado a partir de las especificaciones, requisitos y necesidades planteadas.

**Embebido:** elemento que fue diseñado para realizar una o pocas funciones dedicadas, generalmente dentro de un sistema computacional en tiempo real.

**Entorno Virtual:** ambiente diseñado por computadora, donde pueden ejecutarse simulaciones y pruebas aplicando principios físicos específicos.

**Estado del arte:** término adoptado del inglés que se refiere a los últimos descubrimientos o diseños de cierta tecnología.

**Función:** en programación, es un conjunto de líneas de código que realizan una tarea específica y puede retornar un valor.

**Grados de Libertad:** se refiere a la libertad de movimiento de un cuerpo rígido en un espacio tridimensional. Existen 6 posibles grados de libertad, arriba/abajo, delante/atrás, izquierda/derecha y los 3 ejes rotacionales (transversal, longitudinal, vertical).

**Librería:** conjunto de recursos, datos o rutinas de código que han sido compiladas en conjunto para su posterior invocación y uso de manera sencilla en otras rutinas de código.

**Lua:** lenguaje de programación imperativo, estructurado y compacto que puede ser interpretado en múltiples plataformas.

**Micro-controlador:** circuito integrado programable, capaz de ejecutar las ordenes grabadas en su memoria. Se compone de varios bloques funcionales que cumplen una tarea específica.

**Middleware:** software que se sitúa entre un sistema operativo y las

aplicaciones que se ejecutan en él. Funciona como una capa de traducción oculta para permitir la comunicación y administración de datos en aplicaciones distribuidas.

**Modelo:** representación de la construcción y funcionamiento de un sistema de interés. Todo modelo debe ser lo más aproximado posible al sistema real e incorporar la mayoría de sus características.

**Modelo 3D:** representación de un objeto tridimensional usando una colección de puntos en el espacio dentro de un espacio 3D, conectados por varias entidades geométricas tales como triángulos, líneas, superficies curvas, etc.

**Nodo ROS:** archivo ejecutable, compuesto por un proceso que realiza acciones de cómputo dentro de un paquete. En ROS, los nodos controlan operaciones específicas. Por ejemplo, el funcionamiento de un sensor de proximidad por láser.

**Operador:** persona que dirige o manipula el funcionamiento de un robot ya sea en el sitio de acción o desde una ubicación remota.

**Paquete ROS:** conjunto de nodos, librerías, archivos de configuración, código de terceros, y datos que conforman un módulo útil de ROS. A través de los paquetes se añade funcionalidad en ROS y se reusa código de manera eficiente.

**Plug-in:** también conocido como complemento, es un programa informático que se relaciona con otro para agregarle una función nueva y generalmente muy específica.

**Redundancia cinemática:** estado en el cual un robot posee más grados de libertad que los necesarios para realizar una acción específica.

**Repetibilidad:** capacidad de un robot de ser consistente y repetir la misma acción o tarea con el mismo resultado múltiples veces.

**Robótica:** rama de la ingeniería que se encarga del diseño, construcción,

operación e implementación de robots.

**SAR:** termino estándar para búsqueda y rescate en inglés. Hace referencia a las operaciones llevadas a cabo por un servicio de emergencia para rescatar alguien perdido, enfermo o herido en áreas remotas o poco accesibles.

**Script:** secuencia de instrucciones, que conforman un programa simple y que se almacena en un archivo de texto que puede ser interpretado.

**Sistema de Control:** conjunto de dispositivos que administran, ordenan dirigen o regulan el comportamiento de otro sistema para evitar fallos en este y asegurar su correcto funcionamiento.

**Sistema Operativo:** software principal o conjunto de programas de un sistema informático que gestiona los recursos de hardware y provee servicios a los programas de aplicación de software, ejecutándose en modo privilegiado respecto a los demás.

**Sistema Robótico:** conocido como robot, es un sistema organizado tal que responde con una acción ante los cambios que es capaz de percibir en su entorno.

**Software:** soporte lógico de un sistema informático. Comprende todos los componentes lógicos necesarios que permiten la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos.

**Tele-operación:** término estándar para referirse a la operación de sistemas o máquinas de manera remota.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En la presente sección de la investigación, se hace referencia al conjunto de mecanismos que se utilizarán para el análisis de la problemática descrita. Balestrini (2002) lo define como el conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos. Es decir, es la organización y descripción de cada uno de los pasos y técnicas que se usarán para atender la problemática y dirigir el desarrollo de la investigación, mostrando el camino a seguir para cumplir los objetivos planteados.

#### **3.1 Tipo de Investigación**

Considerando la naturaleza propia del proyecto investigativo, este se encuentra en la clasificación de proyecto factible, debido a que busca el diseño de un robot para su futura construcción e implementación en operaciones de búsqueda y rescate, con el fin de representar una herramienta útil para los equipos de rescate pertenecientes a la Universidad Simón Bolívar en Venezuela. Este tipo de investigación es definido por Mijares y García (2007) como:

Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto factible debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo un diseño que incluya ambas modalidades. (p. 7).

Se considera de esta modalidad, debido a que el objetivo general del presente proyecto es diseñar un robot con características específicas para su futura

construcción y aplicación en situaciones de búsqueda y rescate. Es decir, esta limitado al diseño y no a la presentación de un producto tangible.

### **3.2 Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación representa la estrategia general y los pasos que se seguirán para obtener la información de interés, este puede ser de campo, experimental o documental. En vista de que los datos que serán recolectados en la presente investigación provienen directamente de los sujetos involucrados y representan la realidad de los hechos, se considera el diseño perteneciente a la investigación de campo, definida por Arias (2012) como:

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (p. 31).

### **3.3 Nivel de la Investigación**

El nivel de la investigación responde al grado de profundidad con el cual se aborda el objeto de estudio o algún fenómeno. Además permite saber qué factores tienen que intervenir para el desarrollo de toda la investigación. Las posibles categorías de nivel de un proyecto son: de nivel descriptivo, explicativo o exploratorio. Arias (2012) explica que un proyecto de nivel descriptivo es aquel que:

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (p. 24).

Con lo anterior expuesto, el presente proyecto se encuentra enmarcado en un nivel descriptivo pues busca analizar y describir la situación actual en los equipos de rescate para determinar sus necesidades y que estas puedan ser satisfechas con el diseño del robot planteado.

### **3.4 Población y Muestra**

Se considera importante describir la población relacionada con la presente investigación. Para ello P. Suárez (2011), define población como el conjunto de individuos al que se refiere nuestra pregunta de estudio o respecto al cual se pretende concluir algo. En el presente proyecto la población esta constituida por las 50 agrupaciones estudiantiles activas, pertenecientes a la Universidad Simón Bolívar y que ejecutan actividades en distintas áreas de interés.

Con respecto a la muestra, P. López (2004) la define como un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. Esta debe ser seleccionada tomando en cuenta la cantidad de recursos disponibles y los requerimientos propios que tenga la investigación. Considerando que de todas las agrupaciones estudiantiles que forman parte de la institución, sólo la agrupación de bomberos voluntarios USB está vinculada a la prestación de servicios de protección civil y emergencia, esta representa la muestra seleccionada para la presente investigación.

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de Investigación**

Sampieri (1997) explica que luego de haber enmarcado la investigación en un diseño específico y seleccionar la muestra adecuada según el problema de estudio, el siguiente paso es recolectar los datos pertinentes al proyecto. Para ello se requiere de métodos e instrumentos que permitan al investigador recolectar los datos necesarios para llevarla a cabo de una manera objetiva, válida y confiable. Ejemplo de estos métodos son la observación directa, la encuesta, entrevista y el análisis documental.

Por otro lado, el instrumento de medición es definido por Arias (2012) como “el medio material que se emplea para recoger y almacenar la información”. Por consiguiente, el instrumento representa un elemento tangible que permite la aplicación de una técnica de recolección de datos. En la presente sección se

describirán cada una de las técnicas a aplicar para el cumplimiento de los objetivos planteados y los respectivos instrumentos de medición a ser utilizados.

### **3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos**

#### **3.5.1.1 Revisión Documental**

Consiste en la recopilación de información mediante documentos impresos y material bibliográfico. De una manera más exacta Hurtado (2008) la define como “una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que puede haber sido producto de mediciones hechas por otros o como texto que en sí mismo constituyen los eventos de estudio”. En el presente proyecto, se estudiará a fondo el estado del arte de los robots modulares cooperativos y su aplicación en misiones de búsqueda y rescate. Esto con el fin de conocer el trabajo previo realizado en la región, sus resultados, recomendaciones y obtener un punto de partida para el diseño del robot descrito.

#### **3.5.1.2 Observación Directa**

La observación directa es el proceso en el cual a través de la vista el investigador recopila información directamente del entorno donde ocurre un hecho o fenómeno. Arias (2012 ) lo define como “...visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos...”

#### **3.5.1.3 Entrevista**

Es una técnica para obtener datos que consisten en un diálogo entre dos personas: El entrevistador "investigador" y el entrevistado; se realiza con el fin de obtener información de parte de este, que es, por lo general, una persona entendida en la materia de la investigación. Para Sabino (1992) una entrevista es:

La entrevista desde el punto de vista del método es una forma específica de interacción social que tiene por objeto recolectar datos para una investigación. El investigador formula preguntas a las personas de aportarle datos de interés, estableciendo un dialogo peculiar, asimétrico

donde una de las partes busca recoger información y la otra es la fuente. Por esas razones obvias solo se emplea, salvo rara excepciones en las ciencias humanas. La ventaja esencial de la entrevista reside en que son los mismos actores sociales quienes proporcionan los datos relativos a conductas, opiniones, deseos, actitudes y expectativas. (p.96).

La entrevista puede clasificarse según su estructura en: estructurada, no estructurada y semi-estructurada. Estas denominaciones indican directamente si la entrevista posee una serie de preguntas específicas y ordenadas. Tomando esto en cuenta, se considera oportuna la realización de una entrevista semi-estructurada, pues esta permite al entrevistador realizar preguntas que no fueron concebidas inicialmente y que surgen de manera extraordinaria ante la respuesta a una pregunta anterior.

La entrevista semi-estructurada es la técnica a implementar para diagnosticar las necesidades que presentan los rescatistas pertenecientes a la agrupación de Bomberos Voluntarios USB. Con ella, se entrevistará a los principales miembros de la agrupación para conocer las técnicas, actividades que realizan y obstáculos que se presentan actualmente, al realizar su labor. De esta manera, se obtendrá la información necesaria para iniciar la fase de diseño.

### **3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.5.2.1 Instrumento de Registro**

Permite poseer un soporte de la información en periodos de tiempo relativamente largos de modo que el investigador pueda recuperar la información cuando lo necesite. Para el presente proyecto se contará con el uso de computadoras portátiles y libretas de registro que se utilizarán para el registro de toda la información recolectada.

### **3.6 Fases de la investigación**

#### **Fase I: “Diagnóstico de la situación actual de los equipos de búsqueda y rescate de la Universidad Simón Bolívar”**

En la presente fase se busca determinar las necesidades que presentan los equipos de rescate que hacen vida dentro de las instalaciones de la Universidad Simón Bolívar. Para ello se recolectará información acerca de sus actividades, entrenamientos, técnicas y labor en general, la cual representará una guía de diseño. La aplicación de entrevistas no estructuradas permitirá la obtención de estos datos y su consideración en la selección de funciones y características principales del robot modular y cooperativo en cuestión, para que éste pueda satisfacer las necesidades detectadas.

#### **Fase II: “ Diseño de un modelo de robot modular-cooperativo para operaciones de búsqueda y rescate ”**

Una vez conocidas las carencias de los rescatistas, se procederá a integrar dicha información con los aportes de los antecedentes de la presente investigación para proponer un diseño que responda al diagnóstico realizado. La propuesta contendrá las características necesarias para satisfacer estas carencias y a través de ella se tendrá una posible solución a la problemática planteada.

Una vez especificado el modelo se realiza la comprobación de su funcionamiento a través de una serie de pruebas en un ambiente virtual. El software seleccionado para llevar a cabo estas pruebas es el simulador de sistemas robóticos V-REP. A través de las pruebas se certificara la eficacia del robot en su operación de manera virtual. La presente fase comprende: el modelado del sistema robótico diseñado, la selección de un experimento virtual adecuado, establecer condiciones experimentales para la simulación y la ejecución de las simulaciones.

**Fase III: “Evaluación de factibilidad técnica, operativa, económica, social y ambiental para la implementación de la propuesta.”**

A continuación, se evalúa la factibilidad de implementación de la propuesta desde un punto de vista técnico, operativo, económico, social y ambiental. En esta fase se toma en cuenta el contexto actual de la nación para determinar que tan factible es el ensamblado y futura aplicación del diseño. Para finalizar, se presentarán e interpretarán los resultados obtenidos de las pruebas y se recomendará un futuro curso de acción para posteriores avances.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Fase I: “Diagnóstico de la situación actual de los equipos de búsqueda y rescate de la Universidad Simón Bolívar”.**

##### **4.1.1 Observación Directa**

Para la realización de la presente investigación se contó con el asesoramiento y apoyo del departamento de Mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar. En este sentido, se realizó una visita a sus instalaciones, con el objetivo de obtener herramientas útiles para el desarrollo del trabajo y recopilar información relevante para el diseño del robot planteado.

Como resultado de esta actividad, se obtuvo los diferentes software necesarios para el correcto diseño del robot, siendo estos el sistema operativo Ubuntu, basado en Linux, el simulador de robótica V-REP (hoy nombrado CoppeliaSim) y el sistema ROS. Más allá de eso, se pudo observar trabajos previos realizados en el laboratorio donde cabe destacar el diseño de un robot submarino de inspección, llevado a cabo con las herramientas proporcionadas y siendo ensamblado luego de múltiples procesos de iteración, prueba y ensamblado, demostrando así los resultados del proceso de diseño, desarrollo y prueba de un prototipo hasta su versión final.

##### **4.1.2 Revisión Documental**

El diseño de robots y su uso para operaciones de búsqueda y rescate data de hace poco más de dos décadas. Sin embargo, durante todo ese tiempo se han diseñado y probado sistemas a nivel internacional, que muestran resultados relevantes para la

presente investigación y que por su gran cantidad no son considerados dentro de los antecedentes. A continuación se presentan los resultados de trabajos previos, recopilados a través de una revisión documental del estado del arte de los robots para búsqueda y rescate.

Iniciando por la capacidad de reconfiguración, se mencionó previamente que esta es una característica bastante útil, pues permite que según la experiencia del operador y la situación específica, el robot pueda cambiar su forma o alineación para operar de manera eficiente. De esta manera, Sproewitz, Asadpour, Bourquin e Ijspeert, en 2008, llevaron a cabo una investigación con el objetivo de diseñar un mecanismo de conexión activa, para sistemas robóticos modulares y reconfigurables, a través de pestillos.

Con esto, los autores desarrollaron un mecanismo que posteriormente fue usado en múltiples robots y que permite su reconfigurabilidad. Es esencial entonces el desarrollo y mejora de este tipo de mecanismos para hacer posible la reconfiguración, pues esta requiere de un sistema de acoples entre piezas lo suficientemente rígido para soportar la estructura del robot, pero también flexible para facilitar su movilidad y accionar.

Seguidamente, se mencionan los resultados del diseño de hardware y pruebas de ModRed, llevado a cabo por Hossain, Nelson y Dasgupta, en 2012. A través del diseño de módulos de alimentación, sensores y actuadores, se realiza el diseño de un robot reconfigurable pensado para misiones de exploración y descubrimiento. La idea detrás del diseño es que el robot pueda ser aplicado en superficies extensas de terreno, desconocidas e irregulares. Sin embargo, se observa que la aplicación de métodos de reconfiguración total, donde el sistema robótico por completo se separa modulo a modulo, hace que su accionar sea bastante complejo y lento, no muy práctico. De hecho la velocidad máxima de movimiento del robot es tan baja que no lo hace útil para situaciones de emergencia y su rango sensorial esta limitado a 30cm. Por ende,

se estima que la reconfiguración total de un sistema robótico como el de ModRed, al día de hoy, no es totalmente práctica.

Por otro lado, se tiene que Hunt, Bachman, Murphy and Quinn en 2011 desarrollan un robot para operaciones de búsqueda y rescate en zonas urbanas, tomando como guía a la serie de robots Whegs de la Universidad Case Western Reserve en Estados Unidos. Dentro de sus propiedades se encuentra la reconfigurabilidad de su método de transporte, sin embargo en comparación con el diseño de ModRed, la reconfiguración no es total y requiere de un operador, es decir no es remota.

Los métodos de transporte en cuestión, son el uso de una serie de tracks de tipo oruga o una serie de ruedas de tracción especializadas, denominadas “wheel-legs”. A pesar de estar diseñado para una reconfiguración rápida en cuestión de segundos, las consecuencias de este diseño involucran la incapacidad de reconfiguración en acción y el requerimiento de un operador que realice la reconfiguración. Esto obligaría a los usuarios del robot a tener que ubicarse de manera estratégica cerca de él mientras se esta usando o la necesidad de regresar al robot a la ubicación de inicio para poder reconfigurarse, aumentando considerablemente el riesgo de fallo en la operación o arriesgando la vida de los miembros del equipo de búsqueda y rescate.

#### **4.1.3 Entrevista semi-estructurada a experto del cuerpo de bomberos de la Universidad Simón Bolívar.**

Con el objetivo de diagnosticar la situación actual del cuerpo de bomberos universitarios de la Universidad Simón Bolívar y así tomar en cuenta sus necesidades en el desarrollo de la presente investigación, se realizó una entrevista semi-estructurada a un ex-miembro del cuerpo de bomberos. Para la entrevista se implementó una guía diseñada y validada por expertos, dicha validación puede ser

vista en el Anexo A. El experto seleccionado fue el St1 Luis Guillermo Cuevas Algernon, ingeniero mecánico egresado de la institución, miembro activo del cuerpo de bomberos entre los años 2004 – 2018, cuenta con más de 30 operaciones de inspección y 300 operaciones de rescate realizadas, capacitación en operaciones de rescate en Tokio, experiencia en el uso de robots de búsqueda y rescate aéreos en el departamento de Robótica de Rescate de la Universidad Texas A&M y docente de operaciones de rescate técnico en esta institución, en Estados Unidos. Los datos críticos de la entrevista se muestran a continuación:

- Un robot es una máquina automática programable, capaz de realizar operaciones de manera autónoma y ayudar a los seres humanos en tareas pesadas, repetitivas o peligrosas. ¿Cuáles máquinas como ésta, (Robot) son usadas en las operaciones de inspección y rescate por el personal de Bomberos Universitarios?

“Se han realizado pruebas y entrenamientos puntuales con equipos de terceros, sin embargo actualmente el cuerpo no cuenta con nada que cumpla con esa definición.”

- ¿Qué tipo de formación o entrenamiento especializado ha recibido acerca del uso de robots en las operaciones de inspección y rescate en situaciones de

“El cuerpo de bomberos solo ha recibido charlas de exhibición más no capacitaciones en el uso de robots. Personalmente, he realizado entrenamientos en el uso de drones de inspección en incidentes de gran escala.”

- ¿Qué beneficios aportaría el uso de robots en las operaciones de inspección y rescate que desarrollan los Bomberos Universitario?

“El uso de robots sería sumamente beneficioso para el personal, pues se reducen los riesgos en los cuales deben incurrir, pueden obtener información importante durante una operación rápida, aumentando su eficacia y eficiencia. También facilita tareas de inspección, identificación de puntos clave y cuantificación de daños. De igual forma, las víctimas de los siniestros se benefician pues mejora la capacidad de respuesta del cuerpo de bomberos.”

- ¿En qué tipos de tareas llevadas a cabo por los Bomberos Universitarios en las operaciones de inspección y rescate, sería necesaria la ayuda de un robot?

“La inspección de áreas extensas definitivamente es una muy importante, al igual que en áreas o estructuras incendiada. En este último caso, las vidas humanas son críticas y muchas veces no se justifica el riesgo de intentar salvar a las personas dentro de estos siniestros porque amenaza gravemente la vida de los rescatistas. Es una cuestión también un poco moral. En estas situaciones convendría tener un robot que tome el papel del rescatista y entre a la estructura en busca de señales de vida e información que permita tomar otras decisiones. Siniestros en estructuras confinadas también tiene potencial, porque a veces es difícil tener acceso a ciertos espacios. “

- ¿Qué características debería tener un robot para que optimice la eficiencia de las operaciones de inspección y rescate llevadas a cabo por el Cuerpo de Bomberos Universitarios?

“Por seguridad todo instrumento eléctrico o electrónico debe cumplir con ciertos protocolos, por ejemplo, no deben generar ninguna chispa o alguna corriente estática que pueda iniciar una combustión o activar una atmósfera inflamable. Esto no siempre se cumple, pues el costo de este tipo de equipos certificados es sumamente alto y la logística de certificación también es bastante extensa y costosa. Sería

positivo que el robot cuente con alguno de estos protocolos pero ya en cuerpos de bomberos nacionales se han usado equipos que no los tienen por las razones mencionadas. Otra característica es robustez, dentro de lo posible debe resistir golpes, caídas, agua y calor, debido a las situaciones en las que actúan los bomberos. De ser terrestre, la capacidad de moverse en terrenos irregulares es crítica. Si es aéreo, debe resistir fuertes corrientes de viento. Igual si es marítimo debe poder moverse en corrientes de agua. “

- Los robots modulares son máquinas que se pueden configurar según las necesidades del usuario. ¿Qué actividades realizadas por los Bomberos Universitarios en las operaciones de una inspección y un rescate deberían ser configuradas en el diseño de un robot modular, para que contribuya a optimizar dicha

“Dentro de las posibles programaciones está regresar a la ubicación del operador o ubicación de encendido a necesidad o al perder conexión con el operador. Se puede mencionar también la movilidad de manera autónoma y eficiente en busca de víctimas dentro de un área, analizando patrones de temperatura y/o movimiento.”

- Señale el tipo de información asociada con el tipo de siniestro o inspección, que necesitan manejar con precisión los Bomberos Universitarios en el momento de atender una emergencia:
  - Incendio en estructura: “cantidad de recintos involucrados, puntos más calientes (detector de infrarrojos), ubicación de víctimas, imágenes en tiempo real, cantidad de oxígeno y presencia de gases.”
  - Terremotos: extensión de daños: ”imágenes en tiempo real, ubicación de víctimas, presencia de gases y cantidad de oxígeno.”
  - Rescate de víctimas: “Para ubicar víctimas se pueden usar distintos métodos,

generalmente se hace por calor, patrones de movimiento o por generación de CO2 por respiración. En Japón, se ha estado utilizando un sensor capaz de detectar latidos del corazón, un heartbeat sensor, con un rango que iba de entre 3 y 10 mt. Es bastante útil en deslaves y para clasificar individuos dentro de un siniestro.”

- Inspecciones preventivas y post siniestro: “principalmente imágenes y análisis de estructura. Pero la información relevante es muy amplia, generalmente estas inspecciones requieren de varios expertos en ingeniería civil.”

- De poseer el equipo de Bomberos USB un Robot Modular programado para colaborar en sus operaciones de inspección y de rescate, complete el espacio o señale con una equis (X)

- Que cuente con cámara\_X\_
- Que pueda almacenar información\_X\_
- Que pueda transportar y/o manipular equipos\_\_ personas\_\_ Otros\_\_  
¿Cuáles?\_\_\_\_\_
- Con sensores para medir cambios de temperatura\_X\_
- Con dispositivos para establecer comunicación\_X\_
- Que suministre iluminación\_X\_ ¿Qué tipo de iluminación?\_Iluminación de escena de acción \_
- Sistema de navegación satelital\_X\_ (En áreas extensas)
- Con sensor para determinar proximidad\_X\_
- Con sensor para identificar presencia de gases\_X\_
- Dispositivo para determinar trayectoria confiable para llegar a su destino\_X\_
- Que cuente con algoritmo (**Algoritmo** = secuencia de pasos lógicos que permiten solucionar un problema) de comunicación inalámbrica **CON** el

Robot Modular-Cooperativo, para que éste retorne a su punto de inicio en caso de perderse la comunicación con él? \_X\_

- Otros dispositivos de utilidad \_X\_. ¿Señale cuáles? Alguno que permita alarmar una situación de hombre caído (un miembro del equipo quedo atrapado, no puede moverse o está inhabilitado de alguna manera.). Puede ser una alarma o luz parpadeante. Sería interesante poder dejar también una marca digital y/o física de la ubicación del hombre caído.
- ¿Cómo describiría las condiciones actuales del transporte de las herramientas, del equipo y de los miembros del Cuerpo de Bomberos USB al momento de afrontar las operaciones de inspección y rescate?

“Es precario. Siempre se consigue resolver para mantener y usar al menos una unidad de transporte, pero no es el deber ser, se debería contar con una flota. La situación con los repuestos es compleja”

- ¿Qué tipo de contra indicaciones (Riesgos y /o Debilidades) conllevaría la implementación del uso de un Robot Modular-Cooperativo descrito, durante operaciones de inspección y rescate desarrolladas por el cuerpo de Bomberos Universitarios?

“Los posibles riesgos implican perjudicar la efectividad de una operación ante la mala ejecución de una tarea, poner en riesgo la integridad de alguna víctima o bombero por accidente y la posibilidad de ignición de un combustible o gas debido a una chispa o estática que genera el equipo”

- ¿Qué instituciones, organismos, fundaciones, empresas o personas brindarían apoyo a nivel técnico y de inversión monetaria para la creación del Robot Modular- Cooperativo?

“Se puede mencionar los municipios del área, especialmente Baruta, debido a trabajos y alianzas que se han llevado a cabo. La Gobernación y el Ministerio de Educación Superior podrían también aportar y colaborar. Desde el punto de vista privado, hay muchas empresas, la más abierta a ese tipo de cosas quizás sea Polar. De cualquier forma, conociendo los objetivos del cuerpo de bomberos, la formación de alianzas e intercambios donde dos entes se beneficien es muy factible y considero es el camino, conociendo el alto costo que pueden representar estos equipos.”

#### **4.1.4 Conclusiones de la entrevista con los expertos**

Luego de haber llevado a cabo la entrevista, se concluyen los siguientes puntos importantes para el diseño del robot y el inicio de la fase II:

- No hay experiencia previa útil relacionada al diseño o uso de robots modulares para búsqueda y rescate en el cuerpo de bomberos universitarios. Además, las condiciones en las cuales está actualmente en materia de dotación y transporte no son las mejores.
- Este tipo de robots tiene potencial en operaciones que involucren inspección de áreas extensas, estructuras incendiadas y/o espacios confinados. Además, su uso beneficiaría al cuerpo de bomberos, su efectividad y eficiencia.
- Dentro de lo posible es necesario que el robot sea resistente a altas temperaturas, golpes, agua y polvo. No debe generar chispas o estática en su entorno. Dentro de los posibles dispositivos para su diseño están: cámara, sistema de comunicación, navegación, sensores de gases, temperatura, proximidad e iluminación.
- Dentro de su funcionamiento e idealmente, el robot debe ser capaz de regresar a su ubicación de origen o la del operador, ya sea por instrucción o pérdida de conexión con el mismo. Por otro lado, contar con un sistema de navegación autónomo y un protocolo de alerta de hombre caído.

- Con respecto a dimensiones, se debe procurar que cada una de ellas esté alrededor de los 30 cm. Se debe buscar que pese lo menos posible y posea un color llamativo.
- El incorrecto diseño y uso de un robot de esta naturaleza puede representar una desventaja y no una ventaja en las operaciones de búsqueda y rescate.
- Debido al posible alto costo de la propuesta, es factible y vital generar alianzas y convenios bilaterales con otros entes que permitan financiar el proyecto. El resto de la información suministrada durante la entrevista puede ser revisada en el Anexo B.

## **4.2 Fase II: “Diseño de un modelo de robot modular-cooperativo para operaciones de búsqueda y rescate”.**

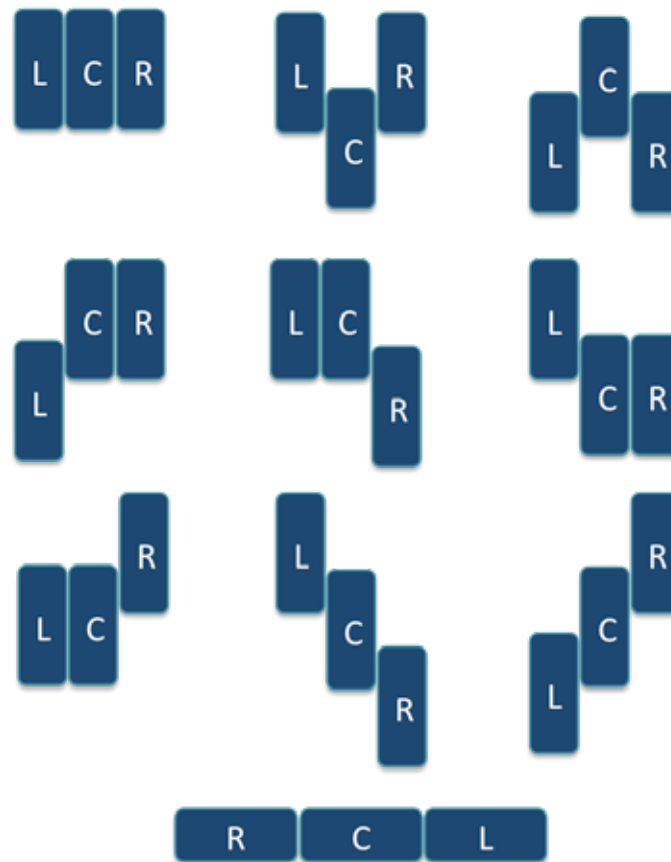
A continuación se presenta el proceso de diseño del robot tomando en cuenta la información obtenida en la entrevista con el experto del cuerpo de bomberos y la revisión documental. De igual manera, se toma en consideración las posibilidades de mejora y el contexto donde se esta llevando a cabo la investigación.

### **4.2.1 Estructura General del Robot**

Para la estructura general se planteó un robot formado por 3 módulos móviles, con la capacidad de acoplarse y alinearse para actuar de manera conjunta. Este diseño permite que las funciones del robot puedan ser debidamente separadas y ofrece la posibilidad de implementar un mecanismo de reconfiguración sencillo, práctico, donde la posición de cada módulo puede cambiar según las necesidades y oportunidades de la situación donde el robot se encuentre.

De esta manera, se obtuvo una estructura con un módulo central y dos laterales (izquierdo y derecho), con la posibilidad de reconfigurarse en 10 posibles alineaciones; una representación gráfica de estas puede verse en la figura 8. A las

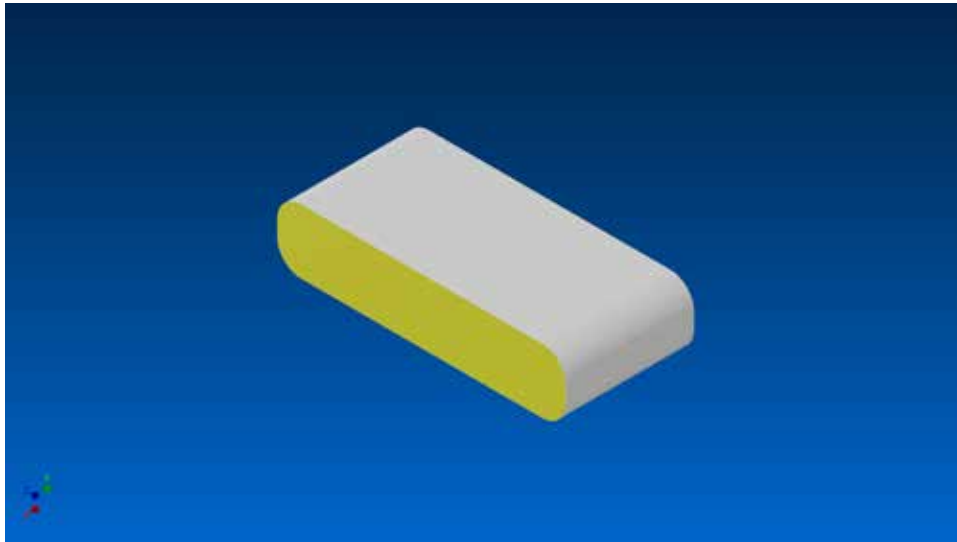
posibilidades mencionadas se añaden las ventajas de reconfiguración remota y la capacidad de adaptarse a terrenos irregulares. Así, el operador del robot puede reconfigurarlo desde una ubicación remota, sin arriesgar la vida de ninguno de su equipo y adaptando al robot a las condiciones de la situación.



**Figura 8.** Posibles configuraciones del robot.  
Fuente: Castellano (2020)

La estructura mencionada se construyó de manera virtual haciendo uso del software de diseño asistido por computadora (CAD) Inventor, en su versión estudiantil 2018. En este proceso se realizó una primera versión, la cual puede ser vista en la figura 9. Se tomó en cuenta la importancia del tamaño y portabilidad del sistema robótico y se dimensionó para que cada módulo fuese un prisma rectangular

con bordes empalmados que tuviese un largo de 236 mm, ancho de 100 mm y alto de 60 mm.



**Figura 9.** CAD de la primera versión de módulo robótico.

Fuente: Castellano (2020)

Por otro lado, tomando datos de la compañía internacional de restauración Rainbow, en sus estadísticas de incendios (2020), indican que las temperaturas en un incendio varían según la altura tomada desde las llamas. Al mismo nivel de las llamas el calor generado es de alrededor de 100 grados Celsius, sin embargo a 2,5 metros se pueden alcanzar temperaturas de hasta 1000 grados Celsius, lo que hace la situación extremadamente arriesgada. El sistema diseñado, debe ser capaz de operar en situaciones con condiciones similares y por ende se toman como materiales para su fabricación el uso de fibra de carbono para la estructura general, policarbonato para una cubierta alrededor de la estructura general, que siga su forma, sellando la fibra de carbono, y polimetilmetacrilato para el recubrimiento y protección de los dispositivos ópticos y demás componentes.

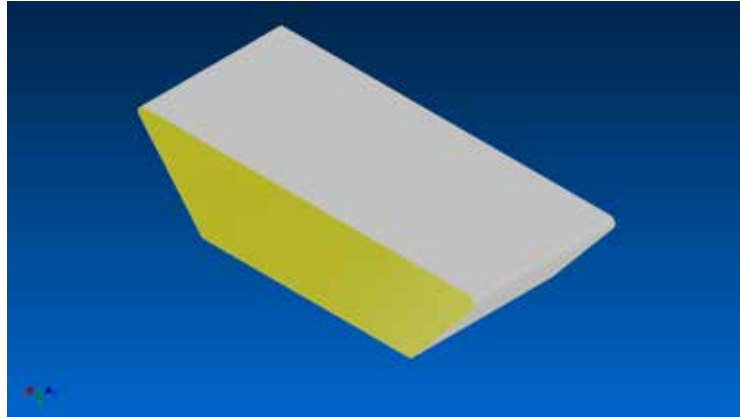
La fibra de carbono, posee propiedades adecuadas para el contexto del diseño donde destaca su capacidad como aislante térmico, baja densidad (similar a la madera) y gran resistencia mecánica (5 veces la fuerza del acero e igual resistencia

mecánica). Por su parte, el policarbonato es un termoplástico con una resistencia al impacto extremadamente elevada, al igual que gran resistencia a la intemperie y rigidez, por ende es seleccionado como cubierta externa. El polimetilmetacrilato, se aprovecharía en el recubrimiento de dispositivos ópticos, debido a su alta resistencia a impactos y transparencia de 93% (el polímero más transparente), lo cual no obstruye el funcionamiento de los dispositivos de visión o escaneo láser.

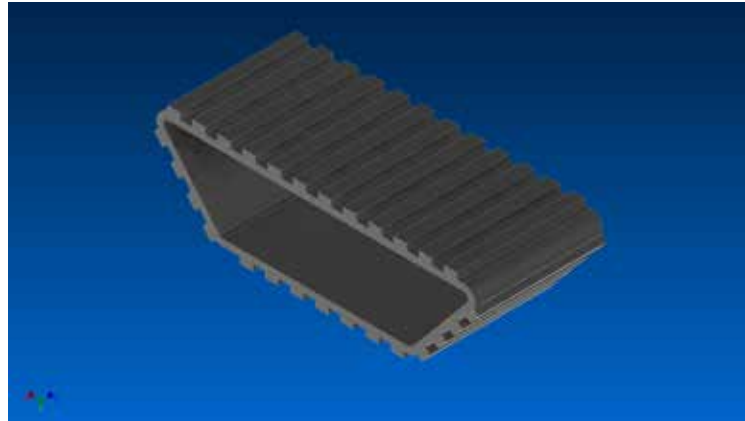
#### **4.2.2 Mecanismo de locomoción**

Pensado para operaciones de búsqueda y rescate, y enfocado en espacios confinados, estructuras incendiadas y áreas extensas, el robot debe poder moverse con facilidad y adaptarse a la superficie que recorre. Es por esto que se decidió elegir como mecanismo de locomoción un sistema de tracks de tipo oruga, alrededor de la superficie del modulo; que le otorgue tracción al sistema sin que este pierda la capacidad de moverse rápido. Este tipo de mecanismos puede ser visto en diseños previos como los presentados en los antecedentes y en aplicaciones militares o de construcción. Para efectos de la construcción virtual del sistema de tracks se utilizó el mismo software de CAD.

Posteriormente, se evaluó la posibilidad de realizar ciertos cambios que optimizaran el uso del sistema de tracks. Así, se alteró el diseño de prisma rectangular descrito previamente para trabajar con un diseño de tipo trapezoidal invertido, que permita que durante el movimiento del robot, el sistema de tracks tenga una mayor superficie de contacto ante posibles obstáculos en su camino. Teniendo más superficie de contacto, el robot posee más tracción y podrá sobrepasar con mayor facilidad obstáculos y desniveles en el terreno. Esta adaptación resultó en módulos de 236 mm de largo superior, 149 mm de largo inferior, 100 mm de ancho, 60 mm de alto y una superficie interna útil de aproximadamente 14.400 . La estructura y el sistema de tracks pueden verse en las figuras 10 y 11.

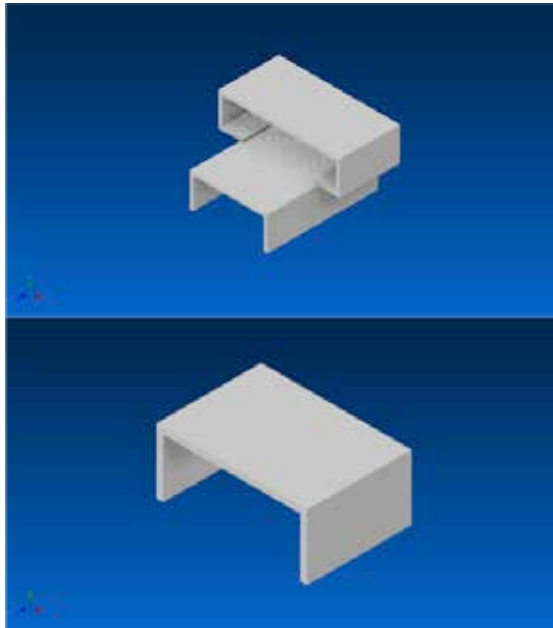


**Figura 10.** CAD de módulo trapezoidal robótico.  
Fuente: Castellano (2020)



**Figura 11.** CAD del sistema de tracks simplificado.  
Fuente: Castellano (2020)

Con respecto a la ubicación de los dispositivos clave para el sistema de locomoción como actuadores y engranajes, estos se ubicarían dentro de los módulos de la estructura. Los demás dispositivos como sensores y unidades de procesamiento deberán ser colocados estratégicamente dentro de los módulos o sobre ellos, haciendo uso de perfiles estructurales como los vistos en la figura 12, diseñados para esa función.



**Figura 12.** CAD de perfiles estructurales del sistema robótico.  
Fuente: Castellano (2020)

#### **4.2.3 Detección y rango de imágenes por láser.**

Dentro de las funcionalidades del sistema a crear se desea que este sea capaz de realizar un escaneo de su entorno y representar en datos esta información. Por esta razón la propuesta incluye el uso de un sistema de detección y rango de imágenes por láser (LIDAR), capaz de emitir un pulso láser y medir la distancia entre el objeto o superficie que refleja el pulso. La información es procesada para crear un mapa del entorno del robot y que esta pueda ser usada por el equipo de bomberos en próximas acciones o el mismo robot para la determinación de trayectorias de movimiento, inspección o cualquier tarea durante su operación. El presente diseño hace uso del dispositivo RPLIDAR A2M8, un scanner LIDAR del fabricante Slamtec (ver figura 12), capaz de generar 4000 muestras por segundo, en un rango de visión de 360 grados y una distancia de 0.5 a 6 metros. Su comunicación es USB y es compatible para ser programado con ROS. Su ubicación en el robot es en el módulo central, en la

parte superior de un perfil estructural para hacer uso completo de su rango de visión. Detalles del dispositivo se encuentran en el Anexo C



**Figura 13.** Dispositivo RPLIDAR A2M8.  
Fuente: ROS Components (2020)

#### **4.2.4 Cámara**

Más allá de incluir un dispositivo LIDAR se añadió un dispositivo capaz de tomar imágenes y darle una visión dentro de la situación al operador y al robot. A través de este y gracias a las posibilidades del sistema ROS, se pueden programar funciones de reconocimiento de imagen, para la correcta detección de objetos y personas. La ubicación del dispositivo se planteó en la parte media del perfil estructural, en el módulo central del sistema. La presente propuesta incluye el uso de la cámara Intel RealSense Depth Camera D435i, que ofrece una resolución de visión RGB 1920 x 1080 a 30 fps y complementa los datos del sistema LIDAR pues incluye un módulo sensor de profundidad. Adicionalmente, la cámara dispone de una unidad de medición inercial (IMU) añadiendo información relevante que puede ser aprovechada para un mejor entendimiento del entorno y ubicación del sistema. Se debe destacar que todas estas funcionalidades están encapsuladas en un dispositivo de alta eficiencia energética y dimensiones pequeñas de 90 mm de alto, 25 mm de ancho y 25 mm de alto (ver figura 12), sus detalles se encuentran en el anexo D.



**Figura 14.** Dispositivo RealSense Depth Camera D435i.  
Fuente: Intel RealSense Store (2020)

#### **4.2.5 Medición de Temperatura**

Una de las variables esenciales a medir es la temperatura en el entorno del robot, la cual puede alcanzar más de 1000 °C. Es por esto que se seleccionó un método de medición basado en el uso de una termocuplas tipo S de la marca TempSen, capaz de medir de 0 a 1600 °C. Se seleccionó una termocupla de este modelo para el módulo lateral izquierdo del robot. Los cabezales de dichas termocuplas entran en contacto con el entorno a través de aberturas debidamente selladas y sus lecturas son convertidas digitalmente con el uso de un modulo conversor de precisión MAX31856. En los anexos E y F se pueden observar las hojas de datos con los detalles específicos de la termocupla y el conversor respectivamente.

La información suministrada por estos transductores es recibida por protocolo 4-wire SPI y posteriormente transmitida al operador remoto, pudiendo ser utilizada para generar mapas de calor del entorno durante una operación. Ahora, la temperatura dentro del robot es también una variable importante, pues estando en un ambiente de condiciones extremas, es necesario conocer la temperatura dentro de cada módulo para evitar su operación en condiciones que inutilicen permanentemente componentes del robot o el sistema completo.

Conociendo que la temperatura máxima de trabajo del dispositivo menos robusto es de 40 °C, se seleccionó un modulo sensor DS18B20 básico, de comunicación 1-wire, que ofrece información de la temperatura interna de cada módulo hasta los 85 °C. La programación de alertas por alta temperatura es posible gracias a la ubicación de este sensor en cada módulo del sistema. Sus detalles pueden observarse en el anexo F.

#### **4.2.5 Medición de Gases**

Para el proceso de medición de gases se le dio prioridad a la medición de dos fluidos siguiendo las recomendaciones dadas por el experto del cuerpo de bomberos; estos son oxígeno y monóxido de carbono. La razón recae en la importancia que estos tienen en el proceso de respiración de seres vivos y que sus concentraciones son datos críticos para conocer la calidad del aire en un ambiente.

Como referencia, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, en inglés) del Departamento de Labor de Estados Unidos determinó en el 2007 que la concentración de oxígeno en el ambiente debe estar comprendida entre el 19,5 y el 23,5% para ser considerado un ambiente seguro y saludable. Una concentración fuera de ese rango representa un riesgo para el humano. De igual manera determinó que la permanencia en ambientes con una concentración de monóxido de carbono de 50 partes por millón (ppm) por un lapso de tiempo mayor a 8 horas es perjudicial para la salud. Tomando en cuenta los niveles de concentración seguros para ambos fluidos se procedió a la selección de los componentes del sistema de medición de gases.

Para la selección se estableció comunicación directa con el fabricante CO2Meter, una empresa de origen estadounidense con alianzas establecidas con otras empresas como Honeywell y Siemens. Tomando sus recomendaciones y atendiendo a las exigencias del proyecto, se seleccionan el sensor inteligente UV Flux, capaz de medir concentraciones de oxígeno desde 0.1 - 25% a una frecuencia de una medición por segundo, y el sensor de monóxido de carbono AlphaSense, el cual permite la medición de 0 a 5000 ppm del compuesto mencionado a una frecuencia de una medición cada 20 segundos. Ambos sensores poseen un adaptador UART a USB para comunicación, un bajo consumo de potencia y dimensiones pequeñas, lo cual los hace ideales para su inclusión dentro de diseño. Más información acerca de su precisión y sensibilidad puede ser vista en el anexo G y H.

#### **4.2.6 Energía y Motores**

Teniendo en cuenta la selección de materiales y componente hasta el momento de esta fase, se realizaron los cálculos necesarios para determinar el consumo de energía y requerimientos de motores que permitirán el funcionamiento y movimiento del robot. A través del software CAD se obtuvo las dimensiones de peso y superficie para la construcción de cada pieza de la estructura principal. Seguidamente, se calculó el peso total de los componentes que forman parte de cada módulo. Una vez con estos datos se estimó que el módulo central pesa 3,263 kg, mientras que los módulos laterales pesan alrededor de 1,532 kg cada uno.

Teniendo los datos anteriores, se procedió al cálculo de torque y potencia necesarios. Cabe destacar, que en el proceso se consideró una situación de requerimiento máximo en un plano inclinado y la independencia de cada módulo, es decir, se realizó una selección de motores y baterías correspondiente al peso de cada módulo. De esta manera, los módulos pueden operar tanto en conjunto, como libremente si así fuese necesario. A continuación se muestra el proceso de cálculo para el torque del modulo central, donde:

$F_x$  : conjunto de fuerzas en el eje x de un plano inclinado  
 $m$ : masa del módulo  
 $a$ : aceleración deseada del módulo en el plano  
 $f$ : fricción con el plano inclinado  
 $g \sin \theta$  : componente x del vector gravedad  
 $T$ : torque  
 $r$ : distancia desde el centro de rotación al plano (radio de engranaje principal)  
 $\omega$  : velocidad angular del módulo deseada en el plano  
 $\theta$  : ángulo de inclinación del plano  
 $P$ : potencia  
 $V$ : voltaje seleccionado para el robot  
 $I$  : corriente

Requiriendo que:  $m = 3,263$  ;  $a = 0,2$  ;  $r = 0,03m$  ;  $\omega = 16,667$  rad/s, y tomando  $g = 9,81$  ; se obtiene que:

$$T = 0,699$$

$$P = T * \omega$$

$$P = I * V$$

Finalmente se aplica un factor de seguridad de 1,15 a los valores de interés:

Del mismo modo, se realizó el cálculo para los módulos laterales, sustituyendo únicamente la variable masa por el valor correspondiente, obteniendo que para los módulos izquierdo y derecho:

Con estos valores, se seleccionó para el módulo central el motor Maxon DCX 22 S con escobillas y una caja de engranajes de transmisión GPX 22 LN Planetary de relación 62:1, del mismo fabricante. Con las características de ambos dispositivos, se tiene un funcionamiento nominal inicial de 0,0146 Nm a 10700 RPM, transformado a un torque de 0,905 Nm y 172,581 RPM, que corresponde a 18,073 rad/s y 0,542 m/s. Con respecto a los módulos laterales se seleccionaron los motores Maxon A-MAX 26 CLL, con escobillas y una caja de engranajes de transmisión GPX 19 Planetary de relación 28:1. Con esta selección se tienen un funcionamiento inicial de 0,0137 Nm a 5310 RPM, transformado a 0,384 Nm a 189,64 RPM que corresponde a 19,859 rad/s y 0,596 m/s. El control de estos motores es realizado a través de 3 controladores de motor MD10C, del fabricante Cytron. Más detalles de cada uno de los dispositivos mencionados pueden verse en el anexo I.

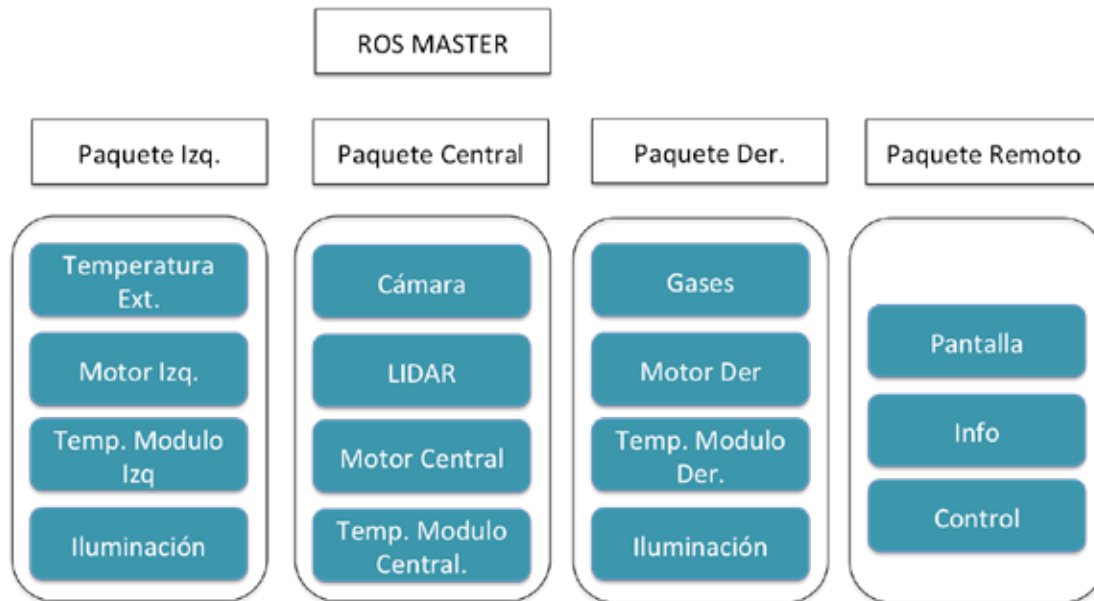
Con respecto al consumo de corriente, se realizó un estudio de todo el conjunto de componentes incluidos en la propuesta actual y sus requerimientos de potencia en condiciones máximas. Como resultado se estima un consumo del módulo central de 2,953 A por hora y de cada módulo lateral 1,461 A por hora. Se debe señalar que en el proceso de estimación de peso y consumo de corriente son tomados en cuenta los mismos motores y baterías usadas. Al igual que con los motores se aplicó un factor de seguridad para las baterías siendo este igual a 1,7. Tomando en cuenta lo anterior, se seleccionó para el caso del módulo central la batería LifePo4 LFP 12V de 5Ah del fabricante especializado AA Portable Power Cup. Para el caso de los módulos laterales se considero el uso del paquete de baterías LifePo4 18650 de 12V y 3Ah, del mismo fabricante. Con la mencionada selección se tiene una autonomía del sistema mucho mayor a la esperada de al menos 1 hora y 45 min. Los

datos de las celdas usadas en la fabricación de las baterías seleccionadas pueden ser vistos en el anexo J.

#### **4.2.7 Control y Comunicaciones**

Debido a la alta cantidad de datos a procesar y las posibles funciones a programar se requirió de un dispositivo de control con suficiente capacidad de procesamiento y un conjunto de dispositivos que permitieran transmitir los resultados de estos procesos de manera rápida y eficiente. Para ello se seleccionó la tarjeta Jetson Nano del fabricante Nvidia, la cual posee facilidades para la programación de algoritmos de inteligencia artificial, una capacidad de procesamiento de 0,5 Tflops y las dimensiones adecuadas para ser parte del diseño. Por su parte, el hardware del sistema de comunicación inalámbrico esta formado por un adaptador WiFi que le da capacidades inalámbricas a la placa controladora Jetson Nano a través de uno de sus puertos USB y dos tarjetas NodeMCU ESP32 con las cuales se genera una red WiFi por la cual se establece comunicación entre cada módulo. En el anexo K pueden ser vistas las hojas de datos de los dispositivos mencionados.

El sistema de control, se diseñó desde el punto de vista de arquitectura ROS, basada en paquetes, nodos, tópicos y servicios de datos. De esta forma, se tienen 4 paquetes, uno por cada módulo y un paquete de control remoto. Cada uno de estos paquetes contiene nodos correspondientes a sus funciones, siendo el paquete más robusto el del módulo central, pues es este el que posee la mayor capacidad de procesamiento. La comunicación entre cada nodo es implementada a través de tópicos y servicios, mientras que el directorio entero de nodos y sus comunicaciones es controlada por el ROS master, alojado en la placa Jetson Nano. Una representación gráfica de la topología de control inicial puede ser vista en la figura 13, sin embargo esta puede cambiar en la medida que se programen y configuren más funciones.



**Figura 15.** Topología del sistema ROS en el robot.  
Fuente: Castellano (2020)

#### 4.2.8 Iluminación, Reconocimiento y Posicionamiento

Con la intención de cumplir con requerimientos de seguridad y funciones esenciales para el cuerpo de bomberos, se añadió al diseño el uso de dos reflectores LED ESafety Lights de acero inoxidable y a prueba de agua, que iluminan la escena donde el robot este operando. Por otra parte se incluye el uso de identificadores luminiscentes, de color verde, que permiten ubicar el sistema de manera rápida y sencilla en la oscuridad sin la necesidad de consumir potencia. Para la ubicación y posicionamiento, se integró el dispositivo GlobalSAT BU353S4, capaz de recibir señales de posicionamiento GPS y permitir la futura programación de rutinas de trayectorias y ubicación más precisas. En el anexo L se pueden observar los detalles del último dispositivo

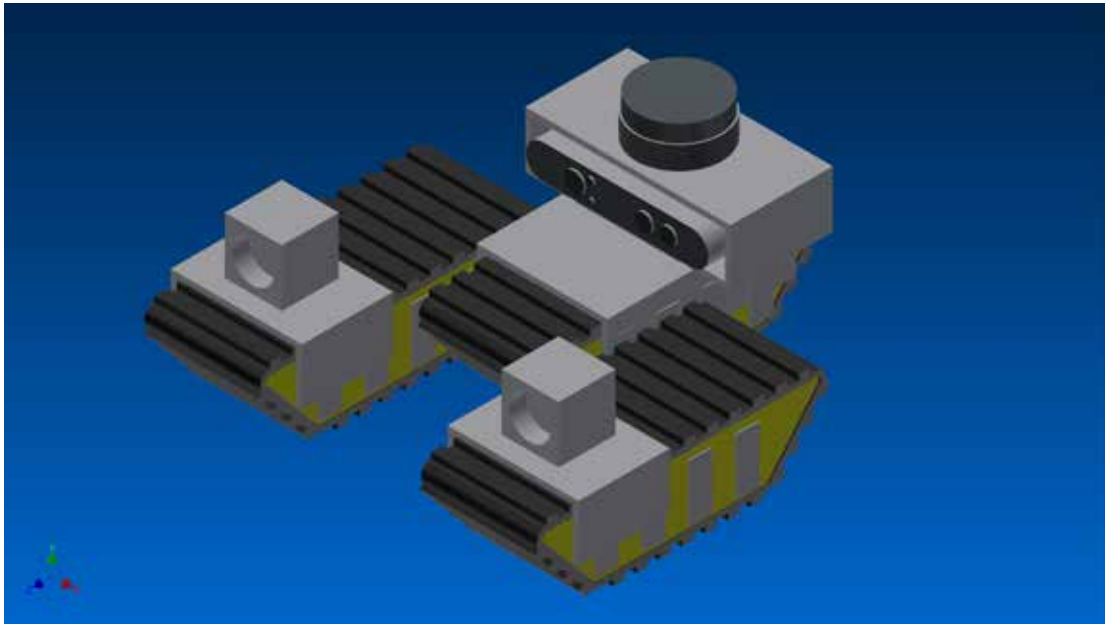
#### 4.2.7 Simulación

A fin de comprobar el funcionamiento de la propuesta se procedió a realizar un modelado físico en el software de simulación V-REP. Para ello fue necesario

importar cada una de las piezas modeladas en Inventor, para el ensamblado del modelo de vista; y el diseño en 3D del robot en figuras puras (cubos, cilindros y articulaciones) que son tomadas en cuenta dentro del análisis dinámico de la simulación. Este modelo, denominado dinámico, es el utilizado para el cálculo de trayectorias, colisiones y leyes físicas dentro del entorno de simulación.

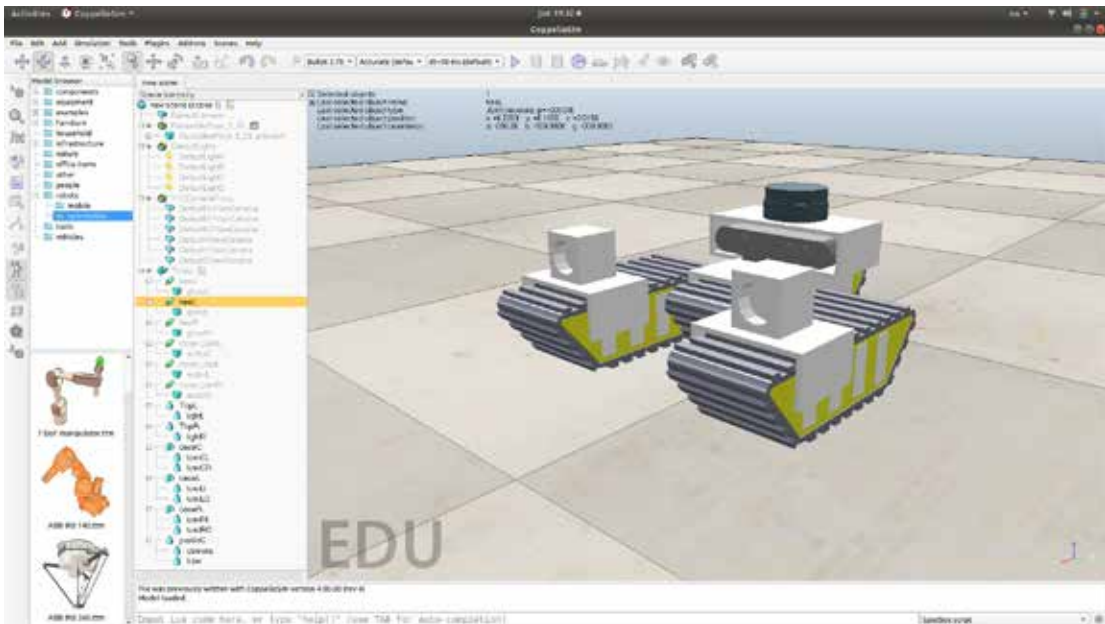
El simulador es configurado para tomar en consideración leyes físicas y las propiedades del modelo de figuras puras, como el torque en sus motores, peso de estructura y densidad, todas ajustadas según los valores calculados y mencionados previamente. La comunicación y funcionamiento de ciertos componentes es programada en ROS para poder implementar el control y alimentación de motores. De igual manera, se programó una interfaz gráfica sencilla que permite controlar el robot desde una ventana. Con todo lo anterior, se realizaron 3 pruebas de manera exitosa.

En una primera instancia se comprobó el funcionamiento adecuado del modelo dinámico del sistema y su vinculación con el modelo de vista ensamblado. En las figuras 16-18 se pueden observar dichos modelos. Seguidamente, se comprobó la movilidad del robot, haciendo uso de la interfaz gráfica programada, permitiendo el movimiento del sistema en 4 direcciones y variar su ángulo de giro. Como se puede apreciar en la figura 19, la interfaz cuenta con 4 botones para cada dirección y dos deslizadores que permiten variar la velocidad de movimiento y giro del robot de manera lineal.



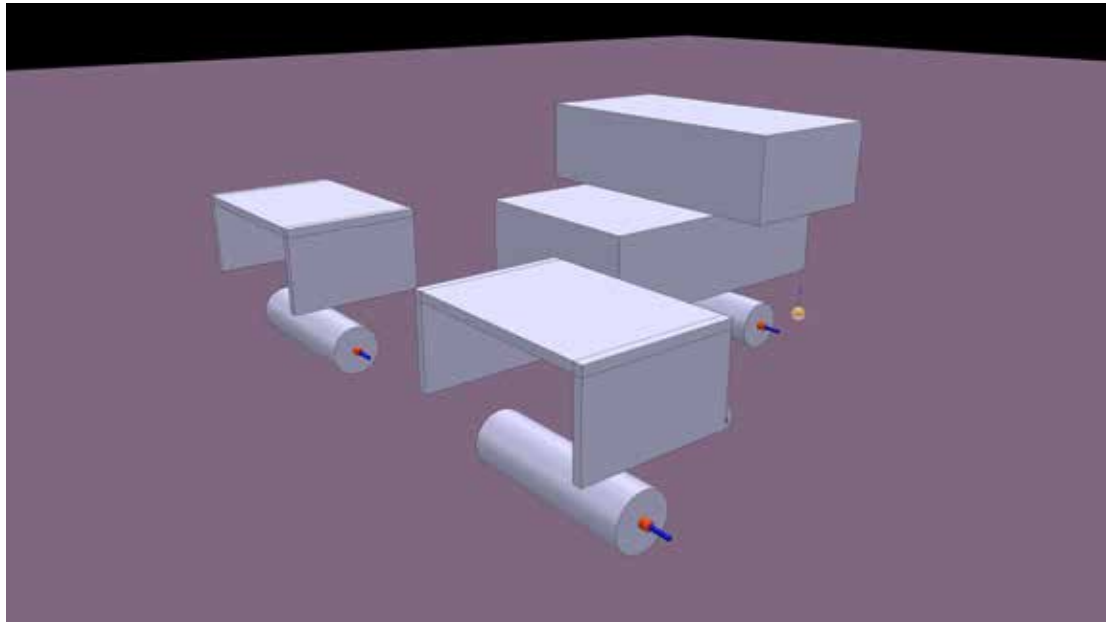
**Figura 16.** Ensamblado del modelo de vista en software Inventor de Trinity (nombre otorgado al sistema robótico).

Fuente: Castellano (2020)

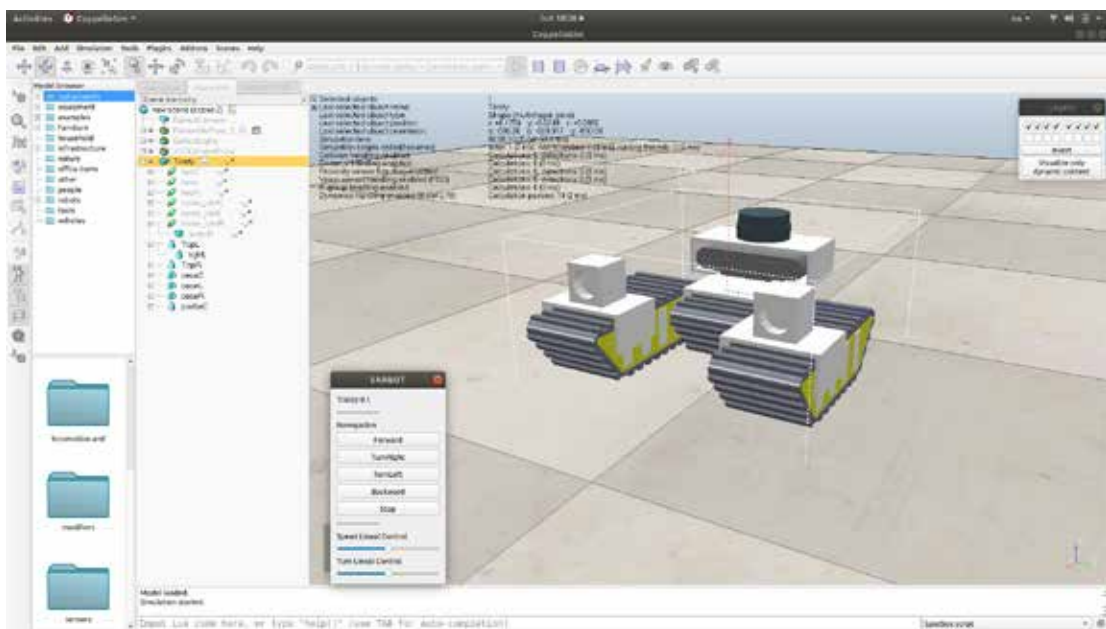


**Figura 17.** Ensamblado del modelo de vista en software V-REP de Trinity.

Fuente: Castellano (2020)



**Figura 18.** Ensamblado del modelo dinámico en software V-REP de Trinity.  
Fuente: Castellano (2020).



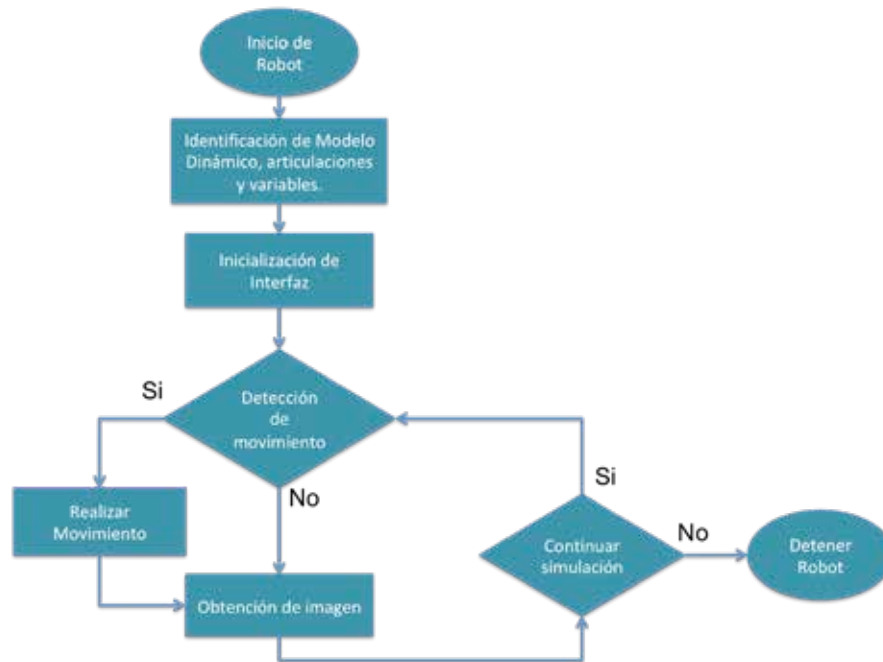
**Figura 19.** Prueba de interfaz gráfica y movimiento del robot Trinity  
Fuente: Castellano (2020)

Finalmente, se diseñó una prueba de campo con el mismo software V-REP y haciendo uso de modelos 3D predefinidos. En esta prueba se ensambló una escena

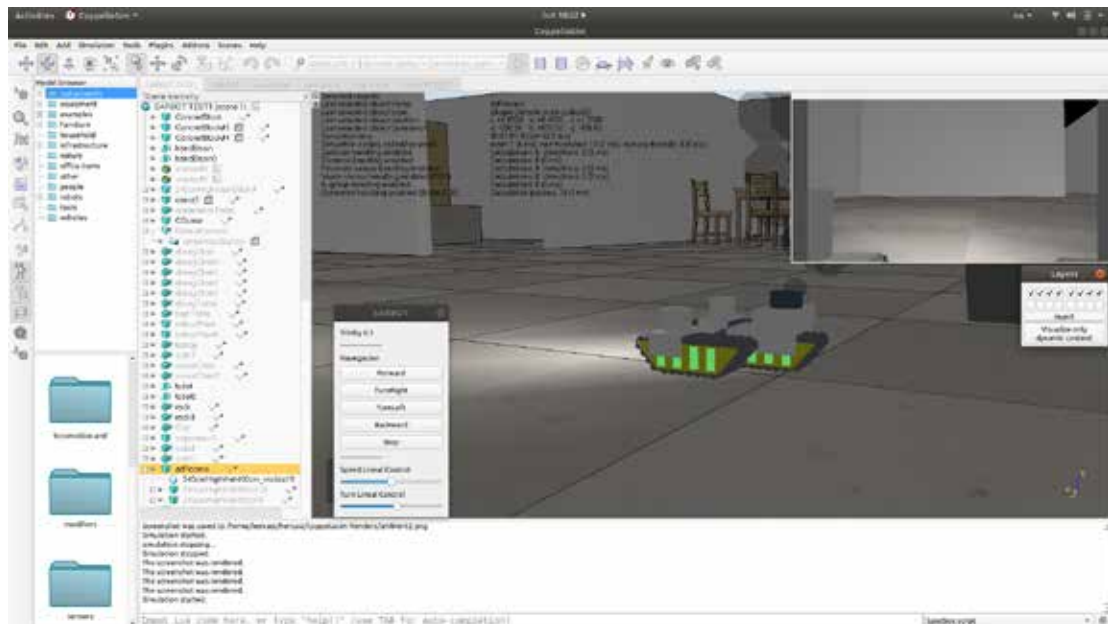
compuesta por una vivienda de 300 m<sup>2</sup>, 2 habitaciones, 2 baños, un salón de estudio, un salón de estar y una cocina. Cada uno de estos ambientes fue configurado con modelos correspondientes a la mueblería común que puede ser encontrada en una vivienda. Por otro lado, se ajustó la vivienda para que esta no tuviese iluminación. A través de esta prueba se pudo comprobar de manera exitosa el desempeño del robot en un ambiente virtual, el uso de su sistema de navegación, iluminación e identificación y transmisión de imagen básica. En las figuras 20 -23 se observa esta última prueba.



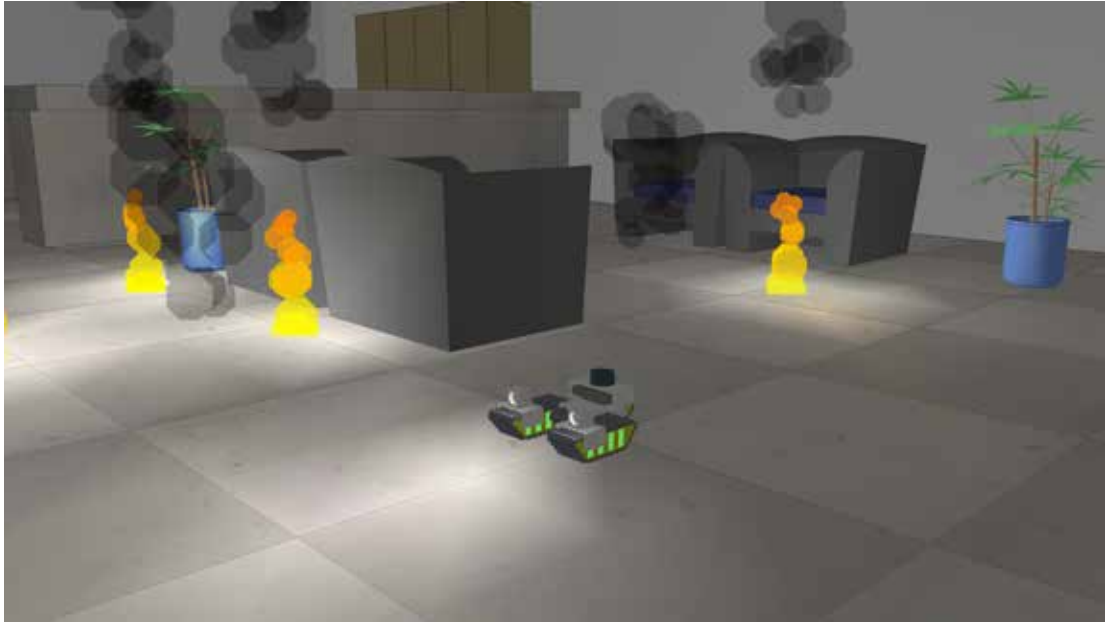
**Figura 20.** Escena de simulación de última prueba en software V-REP  
Fuente: Castellano (2020)



**Figura 21.** Diagrama de flujo del código de control del robot en software V-REP  
Fuente: Castellano (2020)



**Figura 22.** Prueba de desempeño en escena, en software V-REP  
Fuente: Castellano (2020)



**Figura 23.** Vista del robot en escena de simulación, en software V-REP  
Fuente: Castellano (2020)

### **4.3 Fase III: “Evaluación de factibilidad técnica, operativa, económica, social y ambiental para la implementación de la propuesta”.**

#### **4.3.1 Factibilidad económica, técnica y operativa**

Para la evaluación de factibilidad económica y operativa se realizó un estudio de los componentes y materiales a utilizar para la fabricación de la presente propuesta. En el anexo M, se observa de manera detallada cada uno de los costos de estos mismos. De igual manera, haciendo uso del software Inventor, se realiza una aproximación del costo de fabricación por superficie y volumen de materiales. Así se obtuvo un costo total aproximado de 3.796,05 USD. El precio final de la propuesta tiene un amplio rango de fluctuación estimado entre 3796,05 - 4.500 USD, pues no es la versión final y puede requerir múltiples cambios. Además la variación de costos de envío y uso de materiales adicionales como soldaduras químicas, cables y uniones puede aumentar o disminuir el costo final de producción.

Ahora bien, al evaluar diseños y modelos funcionales en el mercado, se observó que el rango de costo de producción de un sistema robótico para operaciones de búsqueda y rescate, con propiedades y requerimientos similares, varían de entre 19.000 USD y más de 83.000 USD. Los datos para este estimado son obtenidos del portal Stripes (2015), el cual en un artículo señala el costo de al menos 19 mil dólares estadounidenses para adquirir el robot denominado 110 First Look; un robot sencillo, de transmisión de imagen, de la empresa Endeavor Robotics. De manera similar, el portal Guide-Army (2020), señala como el precio de otro robot de la misma empresa denominado PackBot, cuesta 83 mil dólares estadounidenses. El diseño de este último data de los años 1998 y representa un escalón importante en la robótica de rescate pues es uno de los robots con mayor despliegue a nivel mundial, siendo usado de manera oficial por primera vez durante el atentado al Centro de Comercio Mundial en Nueva York, Estados Unidos el 11 de Septiembre de 2001.

Durante este estudio, se intento realizar comunicación directa con los fabricantes de sistemas robóticos Endeavor Robotics, Azorobotics, Inuktun, Sterela y Oto Melara, los cuales poseen productos y experiencia en el ámbito de rescate e inspección a nivel internacional. La intención era consultar y comprobar el costo de sus productos insignia, sin embargo no se obtuvo una respuesta de parte de ninguno.

Por otra parte, se debe destacar que existen oportunidades de financiamiento privado y gubernamental para el desarrollo de la presente propuesta; donde distintos entes pueden verse beneficiados, tal como se demostró en la fase I. Tomando en consideración lo expuesto y agregando que el costo de la presente propuesta representa un 23,6 % del precio de venta de un robot de búsqueda y rescate básico como el 110 First Look, se considera factible económicamente la presente propuesta. Los detalles de la estimación del costo de la presente propuesta pueden observarse en el anexo L.

Desde un punto de vista técnico, la fabricación del sistema es factible, debido a que gracias a los sistemas de encomienda y envío global, todos los componentes y dispositivos necesarios pueden ser obtenidos de manera remota. La estructura modular del sistema puede ser construida y ensamblada en el laboratorio de la universidad donde se cuenta con personal capacitado, herramientas e instrumentos necesarios. Desde el punto de vista operativo, es viable para ser usado por el cuerpo de bomberos, siempre y cuando sus miembros realicen la debida capacitación teórico-práctica en el manejo del sistema, como sucede con cualquier herramienta en su labor.

#### **4.3.1 Factibilidad social y ambiental.**

La factibilidad ambiental del diseño viene dada por su mínimo efecto negativo en el ambiente que lo rodea. De hecho, el entorno donde será usado el sistema podrá beneficiarse de su operación pues el enfoque y función del mismo es proteger al máximo seres vivos; sin importar si son de origen animal o vegetal. Con respecto al impacto social, se comprobó la factibilidad desde el inicio, ya que el experto del cuerpo de bomberos, pronosticó una respuesta más que positiva por parte de los miembros de la agrupación y posibles usuarios del sistema. Las funciones de éste permiten disminuir el riesgo que deben enfrentar en una situación de emergencia. A su vez, el uso de un robot como el propuesto facilitaría y mejoraría la eficacia y eficiencia de las operaciones, beneficiando de manera indirecta a la población general protegida por la agrupación.

## CONCLUSIONES

Con el trabajo de grado expuesto se demostró de manera científica, cómo las condiciones con respecto a la dotación de tecnología, del cuerpo de bomberos de la Universidad Simón Bolívar, en Sartenejas, Edo. Miranda, no son las más adecuadas y presentan una oportunidad de mejora a través del diseño y uso de un sistema robótico que sea de apoyo en sus operaciones de búsqueda y rescate. En este sentido, se destacaron las propiedades críticas del sistema y las condiciones en las cuales se debe diseñar.

Una vez comprobada la necesidad, se procedió al diseño de una propuesta de sistema robótico que cumpliera con los requerimientos de las operaciones realizadas por el cuerpo de bomberos y sus condiciones de trabajo. Así, se esquematizó una estructura inicial conformada por 3 módulos móviles, dotados de un sistema de locomoción por tracks de oruga, capaces de alinearse en 10 posibles configuraciones. Seguidamente, se seleccionaron de manera precisa los componentes sugeridos para la construcción del sistema robótico.

Durante el proceso de selección se tuvo comunicación directa con fabricantes de dispositivos electrónicos quienes recomendaron el uso de ciertos modelos y principios de medición. Culminado el proceso de selección se obtiene una propuesta de diseño que es simulada en el software V-REP y cumple con las propiedades de movilidad básicas. La implementación de funciones de mapeo, comunicación, reconocimiento, medición y control pueden ser programadas, gracias a que fueron tomadas en cuenta desde el inicio del proceso de diseño. Más aún, el uso de ROS como sistema operativo, permite la sustitución de múltiples componentes con alteraciones del código mínimas. A pesar de no ser parte de los objetivos, el diseño propuesto presenta la posibilidad de adaptar rutinas de reconfiguración; una propiedad valiosa que le otorgaría mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a su entorno.

## RECOMENDACIONES

La presente investigación representa solo el inicio de un proceso de desarrollo integral y extenso. Es por eso que se plantean las siguientes recomendaciones para su seguimiento:

- Realizar un estudio mecánico que permita comprobar la robustez del diseño actual y diseñar de manera más precisa su modelo dinámico.
- Realizar una simulación y prueba de los materiales de fabricación para comprobar su comportamiento en condiciones críticas de trabajo.
- Diseñar un mecanismo de acople y reconfiguración adaptado al sistema, que permita flexibilidad y robustez.
- Programar e implementar el sistema de comunicaciones internas del sistema.
- Programar las funciones específicas de cada componente en el robot y el proceso de sus datos en el módulo central.
- Diseñar e implementar rutinas de inteligencia artificial para el cálculo de trayectorias y detección de vida.
- Programar las funciones de hombre caído y regreso a operador o punto de inicio.
- Integrar paquetes de ROS que permitan aumentar las capacidades del sistema como control por voz y trayectorias GPS.
- Programar e integrar el uso de una aplicación para el manejo del robot desde dispositivos móviles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación**. (Sexta Edición). Caracas: Episteme.
- Balestrini, M. (2006). **Como se elabora el proyecto de investigación**. (Séptima Edición). Caracas: BL Consultores Asociados.
- Bryant, C. (2008). **Cómo funciona la búsqueda y rescate**. [Artículo en Línea] Disponible en: <https://bit.ly/3bSUUiU> [Consulta, 23 de Febrero de 2020].
- Burke, M. (2015). **Armada gasta millones de dólares en robots versátiles**. [Artículo en Línea] Disponible en: <https://bit.ly/2BVhsmj> [Consulta, 1 de Junio de 2020].
- Convención Internacional de Búsqueda y Rescate Marítimo. 27 de Abril 1979.
- Cordie, T.; Bandyopadhyay, T.; Roberts, J.; Dunbabin, M.; Greenop, K.; Dunganvell, R. y Steindl, R. (2018). **Despliegue de robot Modular de Campo para la Inspección de Edificaciones Dilapidadas**. [Tesis en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2Svziki> [Consulta, 3 de Febrero de 2020].
- Costello, W. (2007). **Aclaración del requisito de OSHA para que el aire respirable tenga al menos un contenido de oxígeno del 19.5 por ciento**. [Artículo en línea] Disponible en: <https://bit.ly/3eiTiQ1> [Consulta, 5 de Mayo de 2020].
- Cousins, S. (2011). **Crecimiento Exponencial de ROS**. [Artículo en línea] Disponible en: <https://bit.ly/2vPnwt4> [Consulta, 3 de Febrero de 2020].
- Díaz, J. y Dorador, J. (2009). **Mecanismos de transmisión y actuadores utilizados en prótesis de mano**. *Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica*. (pp. 335-345). México, México DF: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Efecto Cocuyo; García, C. (2019). **Con pocos vehículos y menos personal calificado se mantiene Protección Civil**. [Artículo en línea] Disponible en: <https://efectococuyo.com/la-humanidad/con-pocos-vehiculos-y-menos-personal-calificado-se-mantiene-proteccion-civil/> [Consulta, 21 de Enero de 2020 ].

- Efecto Cocuyo; Moreno, V. (2018). **Bomberos de Distrito Capital solo cuentan con dos vehículos contra incendios.** [Artículo en línea]. Disponible en: <https://efectococuyo.com/sucesos/bomberos-de-distrito-capital-solo-cuentan-con-dos-vehiculos-contra-incendios/> [Consulta, 21 de Enero de 2020].
- Feuilherade, P. (2017). **Robots al rescate.** [Artículo en Línea] Disponible en: <https://bit.ly/2yV6KdI> [Consulta el 23 de Febrero de 2020].
- Fields, L. (2013). **Comparación de sistemas de comunicación inalámbrica para robots móviles.** Revista Prisma Tecnológica, volumen 4 (n.1), (24 p.).
- Guide Army (2020). **Packbot.** [Artículo en Línea] Disponible en: <https://bit.ly/2BMebG3> [Consulta el 1 de Junio de 2020]
- Hijar, G.; Bonilla, C.; Munayco, C.; Gutiérrez, E. y Ramos, W.(2016). **Fenómeno el niño y desastres naturales: intervenciones en salud pública para la preparación y respuesta.** [Artículo en línea] Disponible en: <https://bit.ly/2H01NkL> [Consulta, 2 de Febrero de 2020].
- Hurtado (2008). **Metodología de la Investigación.** (Cuarta Edición). Caracas: Quirón Ediciones.
- Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. (2020). **¿Qué es un robot?.** [Artículo en línea] Disponible en: <https://robots.ieee.org/learn/> [Consulta, 25 de Enero de 2020].
- K-Technics Solutions. (2020). **Módulo sensor de temperatura y humedad relativa para Arduino.** [Artículo en línea] Disponible en: <https://bit.ly/39eWhXg> [Consulta, 1 de Febrero de 2020] .
- Khalil, W. y Dombre, E. (2006). **Modelado, identificación y control de robots.** [Libro en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2uprPLq> [Consulta, 22 de Enero de 2020].
- Koubaa, A. (2020). **Robot Operating System (ROS).** Varsovia: Springer International Publishing.
- Ley De La Organización Nacional De Protección Civil y Administración De Desastres, Gaceta Oficial N° 5.557, Caracas Venezuela, 13 de Noviembre de 2001.
- Ley Especial Contra Los Delitos Informáticos, Gaceta Oficial 37.313, Caracas Venezuela, 30 de Octubre de 2001

- López, P. (2004). **Población, muestra y muestreo**. [Artículo en línea] Disponible en: <https://bit.ly/2UuleKk> [Consulta, 2 de Febrero de 2020].
- Maria, A. (1997). **Introducción a Modelado y Simulación**. Conferencia de Simulación de Sistemas 1997. New York, Estados Unidos.
- Mijares, H. y García, L. (2007) **Manual de Investigación para trabajo especial de grado de la UJAP**. San Diego. Editorial UJAP
- Murphy, R; Tadokoro S. y Kleiner A. (2016). **Robótica de Desastre**. Nápoles: Springer International Publishing.
- Murphy, R.; Tadokoro, S.; Nardi, D.; Jacoff, A.; Fiorini, P.; Choset, H. y Erkmen, A. (2016). **Manual de Robótica Springer**. (Segunda Edición). Nápoles: Springer International Publishing.
- National Centers for Environmental Information (NCEI). (2020). **Revisión de Desastres Naturales y Climáticos de Billones de Dólares**. [Artículo en línea]. Disponible en: <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/> [Consulta, 21 de Enero de 2020].
- Nogueira, L. (2014). **Análisis Comparativo entre los simuladores robóticos Gazebo y V-REP**. [Documento en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/34hD8Tr> [Consulta 2 de Febrero 2020].
- Organización de Naciones Unidas. (2020). **América Latina y el Caribe: la segunda región más propensa a los desastres naturales**. [Artículo en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3bjvQlf> [Consulta, 1 de Febrero de 2020].
- Pfotzer, L.; Ruehl, S.; Heppner, G.; Roennau, A. y Dillmann, R. (2014). **Kairo 3: un robot modular reconfigurable para misiones de búsqueda y rescate**. Conferencia Internacional de Robótica y Biomimesis de la IEEE. Bali, Indonesia.
- Rainbow, R. (2020). **¿Qué tan caliente es un incendio ?**. [artículo en línea] Disponible en: <https://bit.ly/2Z4Lqx0> [Consulta, 29 de Abril de 2020].
- Rangel, A. y González, J. (2014). **Encuesta sobre condiciones de vida Venezuela 2014. Vulnerabilidad Ciudadana ante Amenazas Naturales**. [Documento en línea] Disponible en: <https://bit.ly/31vJTj6> [Consulta, 22 de Enero de 2020].

- Rivas, J. (2015). **Definición y Análisis de los Modos de Marcha de un Robot Hexápodo para Tareas de Búsqueda y Rescate**. Trabajo de Grado de Maestría. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Sabino, C (1992). **El proceso de investigación**. Caracas: Editorial PANAPO.
- Sampieri, R.; Collado, C. y Baptista, P. (1997) **Metodología de la Investigación**. Naucalpán de Juárez. McGraw Hill Interamericana de México.
- Serna A., Ros F. y Rico J. (2010). **Guía práctica de sensores**. [Libro en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2OuPv7W> [Consulta, 1 de Febrero de 2020].
- Suárez, A. (2011). **Población de estudio y muestra** [Libro en Línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2uyEVSg> [Consulta, 1 de Febrero de 2020].
- Tamayo y Tamayo (2004). **El Proceso de la Investigación científica: incluye evaluación y administración de proyectos de investigación**. México: Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- Tolley, M.; Hiller, J. y Lipson H. (2011). **Diseño Evolutivo y Plan de Ensamblado para Robots Modulares Estocásticos**. [Tesis en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2OwSRqU> [Consulta, 3 de Febrero de 2020].
- Wong, S. y Walter, J. (2013). **Algoritmo Distribuido, Determinista para la Reconfiguración de Robots Modulares desde Configuraciones Arbitrarias a Configuración Cadena**. Conferencia Internacional de Robótica y Automatización de la IEEE. Karlsruhe, Alemania.
- Ye, C.; Ma, S. y Li, B. (2006). **Diseño y experimentos básicos de un robot móvil que cambia su forma para búsqueda y rescate**. Conferencia Internacional de Robots y Sistemas Inteligentes de la IEEE. Beijing, China.
- Yim M.; Shen M.; Salemi B.; Rus D.; Moll M.; Lipson H.; Klavins E. y Chirikjian G. (2007). **Sistemas Robóticos Reconfigurables y Modulares: desafíos y oportunidades del futuro**. *Revista de Robótica y Automatización IEEE*, Vol. 14, no.1, pp. 43-52.
- L. (2008). **Simulación en Robótica**. [Documento en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3bksT3F> [Consulta, 3 de Febrero de 2020].

## **ANEXOS**

**ANEXO A. Validación de contenido de guía de entrevista**



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

Naguanagua, 29 de abril 2020

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN**

Yo Elena Francoyd Sequera de Díaz, CI: V-7045741 , de profesión Leda. en Educación-Orientación, Especialista en Educación Superior y ejerciendo actualmente como Docente en la Cátedra de Metodología de la Investigación en la Universidad José Antonio Páez, hago constar que he revisado, con fines de validación el instrumento "GUÍA DE ENTREVISTA ACERCA DE LAS OPERACIONES DE BÚSQUEDA Y RESCATE REALIZADAS POR BOMBEROS UNIVERSITARIOS Y FACTIBILIDAD DE CREACIÓN DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO", diseñado por el investigador Hermes Castellano, y luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo confirmar su aplicabilidad, correspondencia con la investigación y validez de contenido y propósito.

Leda. Espe. Elena Francoyd Sequera de Díaz  
Docente-Experta en Metodología  
de la Investigación

EFSdD  
Firma

abril 29, 2020  
Fecha



RE PÙBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

San Diego, Abril de 2020

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN**

Yo Wilmer Sanz, CI: 7130496, de profesión Ing. Electricista y ejerciendo actualmente como Profesor de Robótica Industrial en la institución Universidad José Antonio Páez, hago constar que he revisado, con fines de validación el instrumento "GUÍA DE ENTREVISTA ACERCA DE LAS OPERACIONES DE BÚSQUEDA Y RESCATE REALIZADAS POR BOMBEROS UNIVERSITARIOS Y FACTIBILIDAD DE CREACIÓN DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO", diseñado por el investigador Hermes Castellano, y luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo confirmar su aplicabilidad, correspondencia con la investigación y validez de contenido y propósito.

MSc. Wilmer Sanz  
Tutor Académico

Firma

26/05/2020

Fecha

**ANEXO B.** Entrevista a experto del cuerpo de bomberos



**Proyecto: DISEÑO DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO  
PARA OPERACIONES DE BÚSQUEDA Y RESCATE**

**Caso:** Cuerpo de Bomberos de la Universidad Simón Bolívar en Sartenejas-Edo. Miranda

**Autor:** Br. Hermes Castellano (2020). **Diagramación:** Leda. Elna Francoyd Sequera (2020)

**GUÍA DE ENTREVISTA ACERCA DE LAS OPERACIONES DE BÚSQUEDA Y RESCATE  
REALIZADAS POR BOMBEROS UNIVERSITARIOS Y FACTIBILIDAD DE CREACIÓN DE ROBOT MODULAR-COOPERATIVO**

**Objetivos:**

- Diagnosticar características actuales de las operaciones de inspección y rescate realizadas por el Cuerpo de Bomberos USB
- Evaluar factibilidad de la creación de Robot Modular para optimización de las operaciones de inspección y rescate del Cuerpo de Bomberos

**Instrucciones:** responda a cada una de las siguientes preguntas, tomando en cuenta su experiencia profesional en operaciones de inspección y rescate dentro del Cuerpo de Bomberos Universitarios. La información suministrada por **UD**, es fundamental para el diseño virtual de un **Robot Modular-Cooperativo** que contribuya a la optimización del desempeño profesional de los miembros de esta institución.

**¡Gracias por invertir su valioso conocimiento y tiempo en apoyo de esta investigación!**

**ENTREVISTA N°1**

Lugar y Fecha: Kansas, US (28/05/20); Rango: Sargento 1ero ;Años de Servicio 2004-2018 (14) C.I.17.300.156

N° Operaciones de Inspección Atendidas:30 N° Operaciones de Rescate Atendidas:300

Tipo de Operación de Inspección recurrente: Riesgo de Incendio, habitabilidad e integridad estructural.

Tipo de Operación de Rescate recurrente: Vehicular, animal, recuperación de cadáveres.

Medio de Aplicación de la Entrevista: Video Llamada X Celular \_\_\_ Correo Electrónico X Presencial \_\_\_

1. Un robot es una máquina automática programable, capaz de realizar operaciones de manera autónoma y ayudar a los seres humanos en tareas pesadas, repetitivas o peligrosas. ¿Cuáles máquinas como ésta, (Robot) son usadas en las operaciones de inspección y rescate por el personal de Bomberos Universitarios?

“Se han realizado pruebas y entrenamientos puntuales con equipos de terceros, sin embargo actualmente el cuerpo no cuenta con nada que cumpla con esa definición.”

2. ¿Qué tipo de formación o entrenamiento especializado ha recibido acerca del uso de robots en las operaciones de inspección y rescate en situaciones de emergencia?

“El cuerpo de bomberos solo ha recibido charlas de exhibición más no capacitaciones en el uso de robots. Personalmente, he realizado entrenamientos en el uso de drones de inspección en incidentes de gran escala.”

3. ¿Qué beneficios aportaría el uso de robots en las operaciones de inspección y rescate que desarrollan los Bomberos Universitario?

“El uso de robots sería sumamente beneficioso para el personal, pues se reducen los riesgos en los cuales deben incurrir, pueden obtener información importante durante una operación rápida, aumentando su eficacia y eficiencia. También facilita tareas de inspección, identificación de puntos clave y cuantificación de daños. De igual forma, las víctimas de los siniestros se benefician pues mejora la capacidad de respuesta del cuerpo de bomberos.”

4. ¿En qué tipos de tareas llevadas a cabo por los Bomberos Universitarios en las operaciones de inspección y rescate, sería necesaria la ayuda de un robot? Explique brevemente sus razones

“La inspección de áreas extensas definitivamente es una muy importante, al igual que en áreas o estructuras incendiada. En este último caso, las vidas humanas son críticas y muchas veces no se justifica el riesgo de intentar salvar a las personas dentro de estos siniestros porque amenaza gravemente la vida de los rescatistas. Es una cuestión también un poco moral. En estas situaciones convendría tener un robot que tome el papel del rescatista y entre a la estructura en busca de señales de vida e información que permita tomar otras decisiones. Siniestros en estructuras confinadas también tiene potencial, porque a veces es difícil tener acceso a ciertos espacios.”

5. ¿Qué características debería tener un robot para que optimice la eficiencia de las operaciones de inspección y rescate llevadas a cabo por el Cuerpo de Bomberos Universitarios?

“Por seguridad todo instrumento eléctrico o electrónico debe cumplir con ciertos protocolos, por ejemplo, no deben generar ninguna chispa o alguna corriente estática que pueda iniciar una combustión o activar una atmósfera inflamable. Esto no siempre se cumple, pues el costo de este tipo de equipos certificados es sumamente alto y la logística de certificación también es bastante extensa y costosa. Sería positivo que el robot cuente con alguno de estos protocolos pero ya en cuerpos de bomberos nacionales se han usado equipos que no los tienen por las razones mencionadas. Otra característica es robustez, dentro de lo posible debe resistir golpes, caídas, agua y calor, debido a las situaciones en las que actúan los bomberos. De ser terrestre, la capacidad de moverse en terrenos irregulares es crítica. Si es aéreo, debe resistir fuertes corrientes de viento. Igual si es marítimo debe poder moverse en corrientes de agua.”

6. Los robots modulares son máquinas que se pueden configurar según las necesidades del usuario. ¿Qué actividades realizadas por los Bomberos Universitarios en las operaciones de una inspección y un rescate deberían ser configuradas en el diseño de un robot modular, para que contribuya a optimizar dichas operaciones?

“Dentro de las posibles programaciones está regresar a la ubicación del operador o ubicación de encendido a necesidad o al perder conexión con el operador. Se puede mencionar también la movilidad de manera autónoma y eficiente en busca de víctimas dentro de un área, analizando patrones de temperatura y/o movimiento.”

7. Señale el tipo de información asociada con el tipo de siniestro o inspección, que necesitan manejar con precisión los Bomberos Universitarios en el momento de atender una emergencia:

7.1. Incendio en la naturaleza: \_\_\_\_\_

7.2. Incendio en estructuras: "cantidad de recintos involucrados, puntos más calientes (detector de infrarrojos), ubicación de víctimas, imágenes en tiempo real, cantidad de oxígeno y presencia de gases."

7.3. Incendio en vehículos: \_\_\_\_\_

7.4. Inundación: \_\_\_\_\_

7.5. Deslaves y derrumbes: \_\_\_\_\_

7.6. Siniestro por Electricidad: "cantidad de recintos involucrados, puntos más calientes (detector de infrarrojos), ubicación de víctimas, imágenes en tiempo real, cantidad de oxígeno y presencia de gases."

7.7. Terremotos: "imágenes en tiempo real, ubicación de víctimas, presencia de gases y cantidad de oxígeno."

7.8. Choques de vehículos: \_\_\_\_\_

7.9. Rescate de víctimas atrapadas: "Para ubicar víctimas se pueden usar distintos métodos, generalmente se hace por calor, patrones de movimiento o por generación de CO2 por respiración. En Japón, se ha estado utilizando un sensor capaz de detectar latidos del corazón, un heartbeat sensor, con un rango que iba de entre 3 y 10 mt. Es bastante útil en deslaves y para clasificar individuos dentro de un siniestro."

7.10. Inspecciones Preventivas y Post-siniestros: "principalmente imágenes y análisis de estructura. Pero la información relevante es muy amplia, generalmente estas inspecciones requieren de varios expertos en ingeniería civil."

7.11. Otros. Indique \_\_\_\_\_

8. De poseer el equipo de Bomberos USB un Robot Modular programado para colaborar en sus operaciones de inspección y de rescate, **complete el espacio o señale con una equis (X)** las características que considera necesarias:

8.1. Que cuente con cámara X

8.2. Que pueda almacenar información X

8.3. Que pueda transportar y/o manipular equipos    personas    Otros    ¿Cuáles? \_\_\_\_\_

8.4. Con sensores para medir cambios de temperatura X

8.5. Con dispositivos para establecer comunicación X

8.6. Que suministre iluminación X ¿Qué tipo de iluminación? Iluminación de escena de acción   

8.7. Sistema de navegación satelital X (En áreas extensas)

8.8. Con sensor para determinar proximidad X

8.9. Con sensor para identificar presencia de gases X

8.10. Dispositivo para determinar trayectoria confiable para llegar a su destino X

8.11. Que cuente con algoritmo (**Algoritmo** = secuencia de pasos lógicos que permiten solucionar un problema) de comunicación inalámbrica **CON** el Robot Modular-Cooperativo, para que éste retorne a su punto de inicio en caso de perderse la comunicación con él? X

8.12. Dispositivo para reconocimiento y mapeo de superficies X

8.13. Dispositivo para manipulación de escombros   

8.14. Que permita sustituir al personal en zonas de alto riesgo X

8.15. Capaz de brindar soporte puntual de estructuras en caso de derrumbes    (interesante pero muy específico y especializado. Sería un puntal autónomo. )

8.16. Con comando de velocidad graduable para movilidad y desplazamientos X

8.17. Con protectores contra el polvo    X agua    X fuego    X (cierto calor)    sustancias químicas   .

8.18. ¿Cuáles serían las dimensiones físicas del Robot Modular? Depende de la situación pero en condiciones de estructuras o espacios confinados: Altura(+30cm) Ancho(+30cm) Peso \_\_\_\_\_

8.19. ¿Color (es) y forma (s) de su preferencia? Sin forma preferida. Color llamativo, algo fosforescente o incluso luminiscente (franjas de brillo en oscuridad).

8.20. Otros dispositivos de utilidad X. ¿Señale cuáles? Alguno que permita alarmar una situación de hombre caído(un miembro del equipo quedo atrapado, no puede moverse o está inhabilitado de alguna

manera). Puede ser una alarma o luz parpadeante. Sería interesante poder dejar también una marca digital y/o física de la ubicación del hombre caído.

9. Una vez creado el Robot Modular-Cooperativo con las características necesarias para optimizar las operaciones de inspección y rescate, ¿Qué características profesionales debe tener el Bombero Universitario a cargo de su manipulación?

“El bombero debe estar capacitado, tener al menos un año de curso de formación, pues con ese tiempo se pule lo suficiente su rendimiento profesional. Luego de eso, debería tener un taller de entrenamiento del manejo del robot específico.”

10. ¿Qué conocimientos previos considera, debería tener el bombero universitario para recibir entrenamiento del manejo del robot modular-cooperativo ?

“Se puede aplicar lo mismo de la pregunta anterior. Debe tener el conocimiento básico de bombero, un año de experiencia y el entrenamiento específico adecuado”

11. ¿Cómo describiría las condiciones actuales del transporte de las herramientas, del equipo y de los miembros del Cuerpo de Bomberos USB al momento de afrontar las operaciones de inspección y rescate?

“ Es precario. Siempre se consigue resolver para mantener y usar al menos una unidad de transporte, pero no es el deber ser, se debería contar con una flota. La situación con los repuestos es compleja”

12. Describa las condiciones actuales del funcionamiento general del Cuerpo de Bomberos USB para afrontar las operaciones de inspección y rescate, **marcando una equis (X) según la siguiente escala**

EN CUANTO A:	OPERACIONES DE INSPECCIÓN				OPERACIONES DE RESCATE			
	Excedente 100%	Buena 50%	Insuficiente Menos de 50%	Inexistente 0%	Excedente 100%	Buena 50%	Insuficiente Menos de 50%	Inexistente 0%
Calidad de los Equipos para realizar ...		X					X	
Cantidad de Equipos para realizar ...		X					X	
Vigencia de los Equipos y del material para realizar		X				X		
Cursos de actualización y/o entrenamiento del Personal de Bomberos en ...		X				X		
Adquisición de equipos electrónicos para almacenar, transportar, comunicar y manipular con seguridad y rapidez procedimientos esenciales en las...		X					X	
Entrenamiento en manipulación de robots como herramientas programadas para apoyar a los Bomberos en las...				X				X

13. ¿Cuánto peso promedio debe transportar un Bombero Universitario durante las operaciones de inspección y en las operaciones de rescate?

“En inspección es poco, 5 Kg aproximadamente, que se acumulan entre carpetas, cámaras y alguno que otro instrumento específico. Rescate si requiere más cosas, un bombero puede llevar entre 15 y 20 Kg extra, más del doble que en inspecciones.”

14. De contarse con el diseño óptimo y el presupuesto adecuado para la creación del Robot Modular-Cooperativo descrito y facilitar el entrenamiento al personal de Bomberos Universitarios para su manejo en las operaciones de inspección y rescate, ¿Cómo reaccionarían los miembros del Cuerpo?

“Totalmente positiva. Serían niños en navidad”

15. ¿Qué instituciones, organismos, fundaciones, empresas o personas brindarían apoyo a nivel técnico y de inversión monetaria para la creación del Robot Modular- Cooperativo?

“Se puede mencionar los Municipios del área, especialmente Baruta, debido a trabajos y alianzas que se han llevado a cabo. La Gobernación y el Ministerio de Educación Superior podrían también aportar y colaborar. Desde el punto de vista privado, hay muchas empresas, la más abierta a ese tipo de cosas quizás sea Polar. De cualquier forma, conociendo los objetivos del cuerpo de bomberos, la formación de alianzas e intercambios donde dos entes se beneficien es muy factible y considero es el camino, conociendo el alto costo que pueden representar estos equipos.”

16. ¿Qué **posibilidades** tiene el uso de un Robot Modular-Cooperativo descrito, durante operaciones de inspección y rescate desarrolladas por el cuerpo de Bomberos Universitarios?

“Su uso aumentaría la eficacia y eficiencia del cuerpo de bomberos, no solo el de la Universidad Simón Bolívar sino el de cualquier otra universidad, instituto o ente público. De hecho, pudiese ser bastante demandado por organizaciones dentro y fuera del país. La aplicación de robótica en este sector es algo tendencia actualmente.”

17. ¿Qué tipo de **contra indicaciones** (Riesgos y/o Debilidades) conllevaría la **implementación del uso** de un Robot Modular-Cooperativo descrito, durante operaciones de inspección y rescate desarrolladas por el cuerpo de Bomberos Universitarios?

“Los posibles riesgos implican perjudicar la efectividad de una operación ante la mala ejecución de una tarea, poner en riesgo la integridad de alguna víctima o bombero por accidente y la posibilidad de ignición de un combustible o gas debido a una chispa o estática que genera el equipo”

18. ¿Qué **ventajas** (Oportunidades) conllevaría la implementación del uso de un Robot Modular-Cooperativo descrito, durante operaciones de inspección y rescate desarrolladas por el cuerpo de Bomberos Universitarios?

“ En el uso, la mayor ventaja es la reducción del riesgo al que deben estar los bomberos en las operaciones. De manera general, se hacen más eficientes las operaciones de inspección y rescate, especialmente la detección de víctimas con posibilidades de sobrevivir. Con respecto al cuerpo de bomberos, el desarrollar un robot en un cuerpo de bomberos universitarios es algo único. Los bomberos universitarios no son comunes en el mundo y representan equipos sumamente integrales, con estudiantes de muchas áreas. Esto permite que puedan dar un feedback más nutritivo a tu proyecto y ver el robot desde distintas perspectivas. Con esto lo que quiero decir es que se puede obtener mucha información valiosa al tener un grupo mixto de personas interactuando con el robot, que permitiría su mejora continua. Por otro lado, también el uso de los contactos de la misma universidad son una oportunidad latente. ”

**¡Gracias por invertir su valioso conocimiento y tiempo en apoyo a esta investigación!**

**ANEXO C. Hoja de datos (parcial) del dispositivo Slamtec RPLIDAR A2M8**

## Measurement Performance

- For Model A2M7/A2M8 Only

Item	Unit	Min	Typical	Max	Comments
Distance Range	Meter(m)	0.15	-	8	Based on white objects with 70% reflectivity
Angular Range	Degree	-	0-360	-	-
Distance Resolution	mm	-	0.5 - 1% minimum 0.5mm	-	<1.5 meters
Angular Resolution	Degree	0.45	0.9	1.35	10Hz scan rate
Sample Duration	Millisecond(ms)	-	0.25	-	-
Sample Frequency	Hz	2000	4000	4100	
Scan Rate	Hz	5	10	15	The rate is for a round of scan. The typical value is measured when RPLIDAR takes 400 samples per scan

*Figure 2-1 RPLIDAR Performance*

Note: the triangulation range system resolution changes along with distance.

## Laser Power Specification

- For Model A2M7/A2M8 Only

Item	Unit	Min	Typical	Max	Comments
Laser wavelength	Nanometer(nm)	775	785	795	Infrared Light Band
Laser power	Milliwatt (mW)	-	3	5	Peak power
Pulse length	Microsecond(us)	60	87	90	-
Laser Safety Class	-	-	FDA Class I	-	-

*Figure 2-2 RPLIDAR Optical Specification*

Note: the laser power listed above is the peak power and the actual average power is much lower than the value.

Color	Signal Name	Type	Description	Min	Typical	Max
Red	VCC	Power	Total Power	4.9V	5V	5.5V
Yellow	TX	Output	Serial port output of the scanner core	0V	3.3V	3.5V
Green	RX	Input	Serial port input of the scanner core	0V	3.3V	3.5V
Black	GND	Power	GND	0V	0V	0V
Blue	MOTOCTL	Input	Scan motor /PWM Control Signal (active high, internal pull down)	0V	3.3V	5V

*Figure 2-6 RPLIDAR External Interface Signal Definition*

## Power Supply Interface

RPLIDAR A2 takes the only external power to power the range scanner core and the motor system which make the core rotate. To make the RPLIDAR A2 work normally, the host system needs to ensure the output of the power and meet its requirements of the power supply ripple.

- For Model A2M7/A2M8 Only

Item	Unit	Min	Typical	Max	Remark
Power Voltage	V	4.9	5	5.5	If the voltage exceeds the max value, it may damage the core
Power Voltage Ripple	mV	-	20	50	High ripple may cause the core working failure.
System Start Current	mA	-	1200	1500	The system startup requires relatively higher current.
Power Current	mA	TBD	200	220	5V Power , power off
		TBD	450	600	5V Power , power on

*Figure 2-7 RPLIDAR Power Supply Specification*

**ANEXO D.** Hoja de datos (parcial) del dispositivo Intel RealSense D435i Camera

# 1 Description and Features

## Description

The Intel® RealSense™ D400 series is a stereo vision depth camera system. The subsystem assembly contains stereo depth module and vision processor with USB 2.0/USB 3.1 Gen 1 or MIPI<sup>1</sup> connection to host processor.

The small size and ease of integration of the camera sub system provides system integrators flexibility to design into a wide range of products.

The Intel® RealSense™ D400 series also offers complete depth cameras integrating vision processor, stereo depth module, RGB sensor with color image signal processing and Inertial Measurement Unit<sup>2</sup> (IMU). The depth cameras are designed for easy setup and portability making them ideal for makers, educators, hardware prototypes and software development.

The Intel® RealSense™ D400 series is supported with cross-platform and open source Intel® RealSense™ SDK 2.0

## Features

- 2<sup>nd</sup> Generation Stereo Depth Camera System
- 2<sup>nd</sup> Generation dedicated Intel® RealSense™ Vision Processor D4 with advanced algorithms
- Infrared (IR) Laser Projector System (Class 1)
- Full HD resolution Image sensors
- Active Power Management
- Selection of Stereo Depth Module options to meet your usage requirements

1. MIPI is not currently supported. Please contact your Intel representative on MIPI enablement timelines.
2. Module and Camera SKU dependent

## Usages/Markets

- Drones
- Robots
- Home and Surveillance
- Virtual Reality
- PC Peripherals

## Minimum System Requirements

USB 2.0/USB 3.1 Gen 1

Ubuntu\* 16.xx/Windows\*10

## Intel® RealSense™ Depth Camera D415 Features

- Intel® RealSense™ Vision Processor D4
- Up to 1280x720 active stereo depth resolution
- Up to 1920x1080 RGB resolution
- Depth Diagonal Field of View over 70°
- Dual rolling shutter sensors for up to 90 FPS depth streaming
- Range 0.3m to over 10m (Varies with lighting conditions)

## Intel® RealSense™ Depth Camera D435/D435i Features

- Intel® RealSense™ Vision Processor D4
- Up to 1280x720 active stereo depth resolution
- Up to 1920x1080 RGB resolution
- Depth Diagonal Field of View over 90°
- Dual global shutter sensors for up to 90 FPS depth streaming
- Range 0.2m to over 10m (Varies with lighting conditions)
- Intel® RealSense™ Depth Camera D435i includes Inertial Measurement Unit (IMU) for 6 degrees of freedom (6DoF) data

## Intel® RealSense™ Depth Camera D455 Features

- Intel® RealSense™ Vision Processor D4
- Up to 1280x720 active stereo depth resolution
- Up to 1280x800 RGB resolution
- Diagonal Field of View over 90°
- Dual global shutter sensors for up to 90 FPS depth streaming
- RGB global shutter sensor for up to 90 FPS
- Range 0.4m to over 10m (Varies with lighting conditions)
- Intel® RealSense™ Depth Camera D455 includes Inertial Measurement Unit (IMU) for 6 degrees of freedom (6DoF) data

Figure 4-6. Depth Camera X-Y Depth Origin Reference

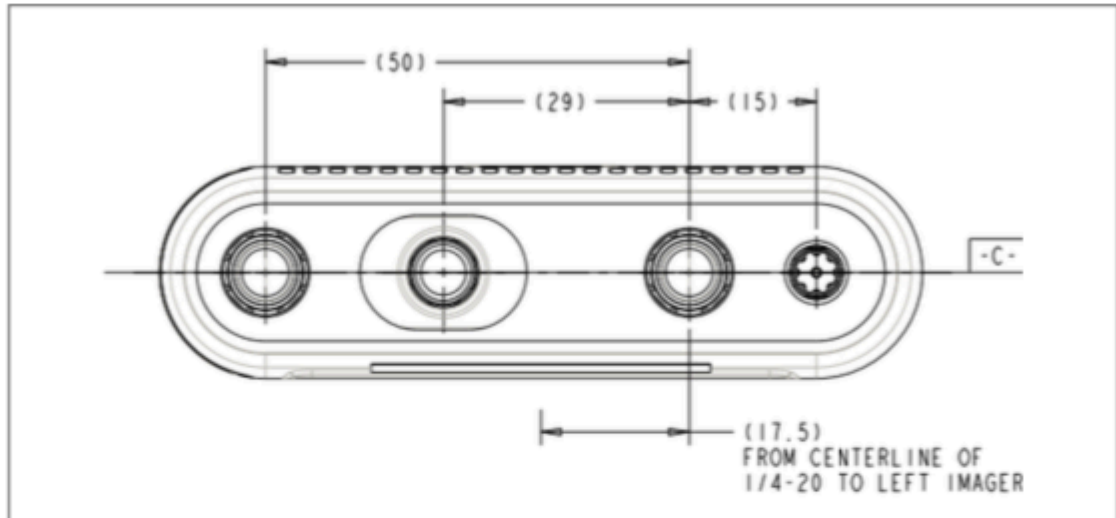


Table 4-13. Depth Camera X-Y Depth Origin Coordinates

Depth Camera	From Centerline of 1/4-20 <sup>1</sup> To Left Imager
D415	20mm
D435/D435i	17.5mm
D455	47.5mm

**NOTES:**

- Center of tripod mounting hole (1/4-20)

## 4.9 Depth Camera Functions

D4 exposes the following Depth image settings.

Table 4-14. Depth Camera Controls

Control	Description	Min	Max
Manual Exposure <sup>(1)</sup> (ms)	Control sensor exposure period (400/410)	1	166
Manual Exposure <sup>(1)</sup> (ms)	Control sensor exposure period (430)	1	166
Manual gain <sup>(1)</sup> (Gain 1.0 = 16)	Control sensor digital gain.	16	248
Laser Power (on/off) (On = 1)	Power to IR Projector	0	1
Manual Laser Power (mW)	Laser Power setting (30mW steps)	0	360

Control	Description	Min	Max
Auto Exposure Mode (Enable = 1)	Auto Exposure Mode. When Auto Exposure is enabled, Exposure and Gain are set based on the environment condition	0	1
Auto Exposure ROI	Perform Auto Exposure on a selected ROI	T-0 L-0 B-1 R-1	T-719 L-1279 B-720 R-1280
Preset	Set Controls parameters based on Camera Usage		
Meta Data Control	Enable/Disable Metadata	0	1

**NOTES:**

(1) - Not supported in Auto Exposure Mode

T - Top, L - Left, B - Bottom, R - Right

## 4.10 Color Camera Functions

**Table 4-15. RGB Exposed Controls**

Control	Description	Min	Max
Auto-Exposure Mode	Automatically sets the exposure time and gain for the frame.	0x1	0x8
Auto Exposure ROI	Perform Auto Exposure on a selected ROI	T-0 L-0 B-1 R-1	T-1079 L-1919 B-1080 R-1920
Manual Exposure Time	Sets the absolute exposure time when auto-exposure is disabled.	1	10000
Brightness	Sets the amount of brightness applied when auto-exposure is enabled.	-64	64
Contrast	Sets the amount of contrast based on the brightness of the scene.	0	100
Gain	Sets the amount of gain applied to the frame if auto-exposure is disabled.	0	128
Hue	Sets the amount of hue adjustment applied to the frame.	-180	180
Saturation	Sets the amount of saturation adjustment applied to the frame.	0	100

Control	Description	Min	Max
Sharpness	Sets the amount of sharpening adjustment applied to the frame.	0	100
Gamma	Sets amount of gamma correction applied to the frame.	100	500
White Balance Temperature Control	Sets the white balance when AWB is disabled.	2800	6500
White Balance Temperature Auto (AWB)	Enables or disables the AWB algorithm.	0	1
Power Line Frequency	Specified based on the local power line frequency for flicker avoidance.	0	3
Backlight Compensation	Sets a weighting amount based on brightness to the frame.	0	1
Low Light Comp	Low Light Compensation	0	1

**NOTES:**

T - Top, L - Left, B - Bottom, R - Right

## 4.11 IMU Specifications

Table 4-16. IMU Specifications

Camera	Parameter	Properties
Intel® RealSense™ Depth Camera D435i, Intel® RealSense™ Depth Camera D455	Degrees of Freedom	6
	Acceleration Range	±4g
Intel® RealSense™ Depth Module D430+Intel® RealSense™ Vision Processor D4 Board V2	Accelerometer Sample Rate <sup>1</sup>	62.5, 250 (Hz)
	Gyroscope Range	±1000 deg/s
	Gyroscope Sample Rate <sup>2</sup>	200, 400 (Hz)
	Sample Timestamp Accuracy	50 usec

**NOTES:**

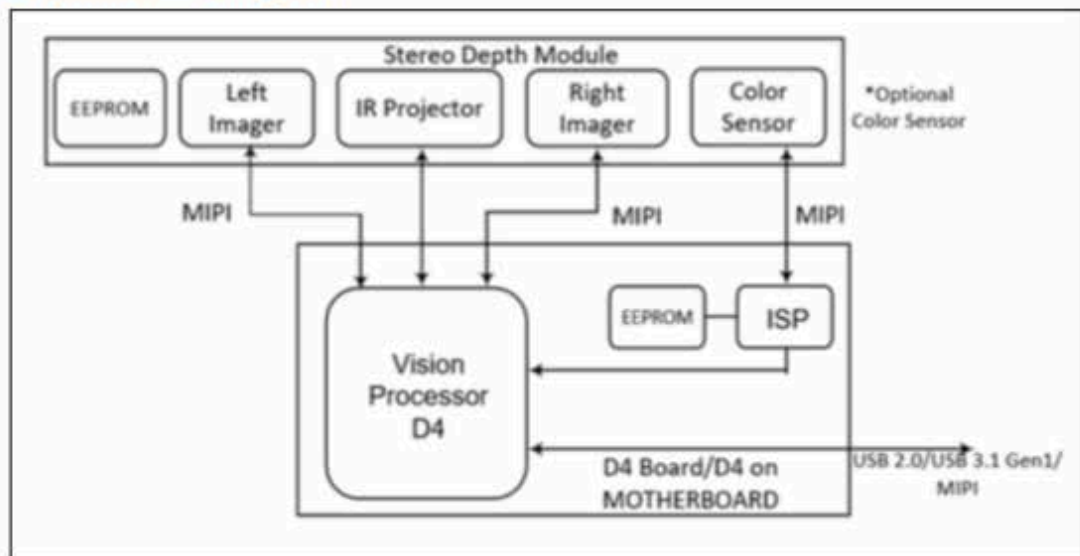
1. The sample rate may differ from the absolute specified sample rate by ±5%. It is advised to rely on the sample timestamp.
2. The sample rate may differ from the absolute specified sample rate by ±0.3%.

## 7 System Integration

The small size of the stereo depth module and the separate placement of Vision Processor D4 provides system integrators flexibility to design into a wide range of products. Because the camera uses stereo vision technology, it is crucial that the stereo depth module does not flex throughout its service life. This creates unique mechanical and thermal implementation guidance. This section explains how to correctly integrate D4 depth camera into a system.

### 7.1 System Level Block Diagram

Figure 7-1. System Block Diagram



### 7.2 Vision Processor D4 System Integration

There are two options to integrate Vision Processor D4 into a system, either by integration of Vision Processor D4 Board or having the Vision Processor D4 and support components directly on the host processor motherboard. Vision Processor D4 Board simplifies system design and integration of the D4 depth camera system and Vision Processor D4 on Motherboard allows for a space optimized implementation of the D4 depth camera system.

#### 7.2.1 Vision Processor D4 Board

The Vision Processor D4 Board has a standard USB Type-C connector and requires an appropriate USB Type-C cable to connect to a standard USB 2.0/USB 3.1 Gen 1 external port.

**Anexo E.** Hoja de datos (parcial) de la termocupla TempSen, tipo S

## Type S Thermocouple Table

Platinum - 10% Rhodium/Platinum, Electromotive Force as a function of Temperature, E/ $\mu$ V  
As per Standard ASTM E231

190/°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	190/°C
610	5341	5351	5361	5372	5382	5392	5402	5413	5423	5433	610
620	5443	5454	5464	5474	5485	5495	5505	5515	5526	5536	620
630	5546	5557	5567	5577	5588	5598	5608	5618	5629	5639	630
640	5649	5660	5670	5680	5691	5701	5712	5722	5732	5743	640
650	5753	5763	5774	5784	5794	5805	5815	5826	5836	5846	650
660	5857	5867	5878	5888	5898	5909	5919	5930	5940	5950	660
670	5961	5971	5982	5992	6003	6013	6024	6034	6044	6055	670
680	6065	6076	6086	6097	6107	6118	6128	6139	6149	6160	680
690	6170	6181	6191	6202	6212	6223	6233	6244	6254	6265	690
700	6275	6286	6296	6307	6317	6328	6338	6349	6360	6370	700
710	6381	6391	6402	6412	6423	6434	6444	6455	6465	6476	710
720	6486	6497	6508	6518	6529	6539	6550	6561	6571	6582	720
730	6593	6603	6614	6624	6635	6646	6656	6667	6678	6688	730
740	6699	6710	6720	6731	6742	6752	6763	6774	6784	6795	740
750	6806	6817	6827	6838	6849	6859	6870	6881	6892	6902	750
760	6913	6924	6934	6945	6956	6967	6977	6988	6999	7010	760
770	7020	7031	7042	7053	7064	7074	7085	7096	7104	7117	770
780	7128	7139	7150	7161	7172	7182	7193	7204	7215	7226	780
790	7236	7247	7258	7269	7280	7291	7302	7312	7323	7334	790
800	7345	7356	7367	7378	7388	7399	7410	7421	7432	7443	800
810	7454	7465	7476	7487	7497	7508	7519	7530	7541	7552	810
820	7563	7574	7585	7596	7607	7618	7629	7640	7651	7662	820
830	7673	7684	7695	7706	7717	7728	7739	7750	7761	7772	830
840	7783	7794	7805	7816	7827	7838	7849	7860	7871	7882	840
850	7893	7904	7915	7926	7937	7948	7959	7970	7981	7992	850
860	8003	8014	8026	8037	8048	8059	8070	8081	8092	8103	860
870	8114	8125	8137	8148	8159	8170	8181	8192	8203	8214	870
880	8226	8237	8248	8259	8270	8281	8293	8304	8315	8326	880
890	8337	8348	8360	8371	8382	8393	8404	8416	8427	8438	890
900	8449	8460	8472	8483	8494	8505	8517	8528	8539	8550	900
910	8562	8573	8584	8595	8607	8618	8629	8640	8652	8663	910
920	8674	8685	8697	8708	8719	8731	8742	8753	8765	8776	920
930	8787	8798	8810	8821	8832	8844	8855	8866	8878	8889	930
940	8900	8912	8923	8935	8946	8957	8969	8980	8991	9003	940
950	9014	9025	9037	9048	9060	9071	9082	9094	9105	9117	950
960	9128	9139	9151	9162	9174	9185	9197	9208	9219	9231	960
970	9242	9254	9265	9277	9288	9300	9311	9323	9334	9345	970
980	9357	9368	9380	9391	9403	9414	9426	9437	9449	9460	980
990	9472	9483	9495	9506	9518	9529	9541	9552	9564	9576	990
1000	9587	9599	9610	9622	9633	9645	9656	9668	9680	9691	1000
1010	9703	9714	9726	9737	9749	9761	9772	9784	9795	9807	1010
1020	9819	9830	9842	9853	9865	9877	9888	9900	9911	9923	1020
1030	9935	9946	9958	9970	9981	9993	10005	10016	10028	10040	1030
1040	10051	10063	10075	10086	10098	10110	10121	10133	10145	10156	1040
1050	10168	10180	10191	10203	10215	10227	10238	10250	10262	10273	1050
1060	10285	10297	10309	10320	10332	10344	10356	10367	10379	10391	1060
1070	10403	10414	10426	10438	10450	10461	10473	10485	10497	10509	1070
1080	10520	10532	10544	10556	10567	10579	10591	10603	10615	10626	1080
1090	10638	10650	10662	10674	10686	10697	10709	10721	10733	10745	1090
1100	10757	10768	10780	10792	10804	10816	10828	10839	10851	10863	1100
1110	10875	10887	10899	10911	10922	10934	10946	10958	10970	10982	1110
1120	10994	11006	11017	11029	11041	11053	11065	11077	11089	11101	1120
1130	11113	11125	11136	11148	11160	11172	11184	11196	11208	11220	1130
1140	11232	11244	11256	11268	11280	11291	11303	11315	11327	11339	1140
1150	11351	11363	11375	11387	11399	11411	11423	11435	11447	11459	1150
1160	11471	11483	11495	11507	11519	11531	11542	11554	11566	11578	1160
1170	11590	11602	11614	11626	11638	11650	11662	11674	11686	11698	1170
1180	11710	11722	11734	11746	11758	11770	11782	11794	11806	11818	1180
1190	11830	11842	11854	11866	11878	11890	11902	11914	11926	11939	1190

**Anexo F.** Hoja de datos (parcial) del conversor digital MAX31856 y sensor DS18B20

## MAX31856

## Precision Thermocouple to Digital Converter with Linearization

### General Description

The MAX31856 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from any type of thermocouple. The output data is formatted in degrees Celsius. This converter resolves temperatures to 0.0078125°C, allows readings as high as +1800°C and as low as -210°C (depending on thermocouple type), and exhibits thermocouple voltage measurement accuracy of  $\pm 0.15\%$ . The thermocouple inputs are protected against overvoltage conditions up to  $\pm 45V$ .

A lookup table (LUT) stores linearity correction data for several types of thermocouples (K, J, N, R, S, T, E, and B). Line frequency filtering of 50Hz and 60Hz is included, as is thermocouple fault detection. A SPI-compatible interface allows selection of thermocouple type and setup of the conversion and fault detection processes.

### Applications

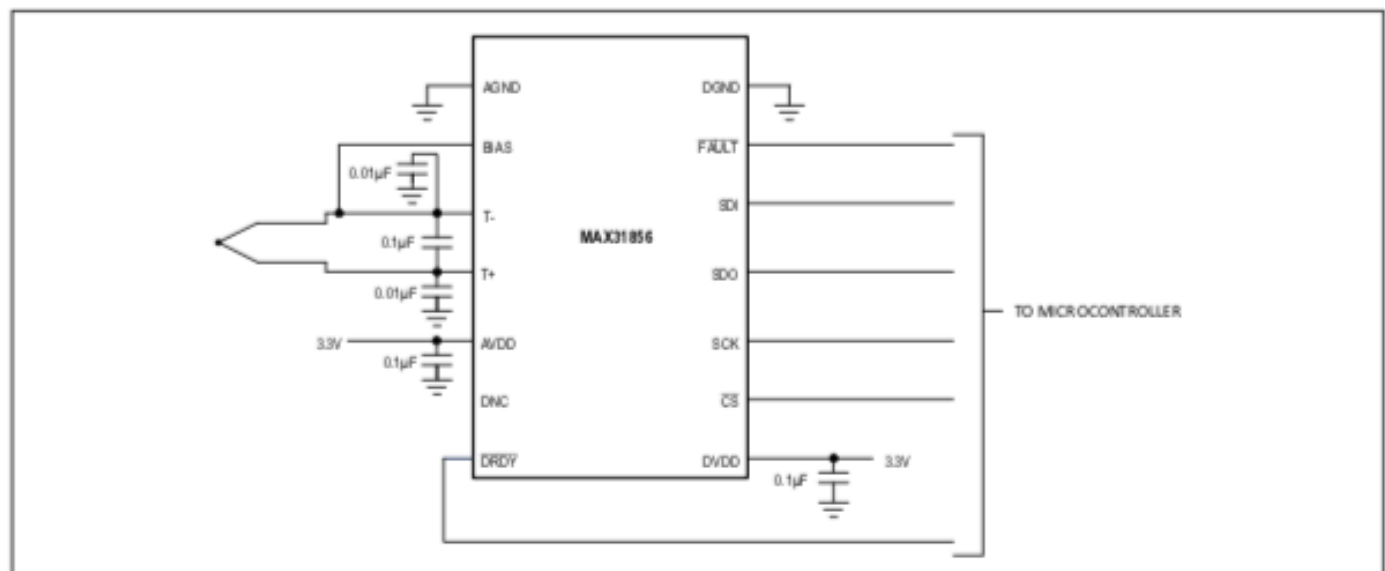
- Temperature Controllers
- Industrial Ovens, Furnaces, and Environmental Chambers
- Industrial Equipment

*Ordering Information* appears at end of data sheet.

### Benefits and Features

- Provides High-Accuracy Thermocouple Temperature Readings
  - Includes Automatic Linearization Correction for 8 Thermocouple Types
  - $\pm 0.15\%$  (max, -20°C to +85°C) Thermocouple Full-Scale and Linearity Error
  - 19-Bit, 0.0078125°C Thermocouple Temperature Resolution
- Internal Cold-Junction Compensation Minimizes System Components
  - $\pm 0.7^\circ C$  (max, -20°C to +85°C) Cold-Junction Accuracy
- $\pm 45V$  Input Protection Provides Robust System Performance
- Simplifies System Fault Management and Troubleshooting
  - Detects Open Thermocouples
  - Over- and Undertemperature Fault Detection
- 50Hz/60Hz Noise Rejection Filtering Improves System Performance
- 14-Pin TSSOP Package

### Typical Application Circuit



## Absolute Maximum Ratings

AVDD, DVDD	-0.3V to +4.0V
T+, T-, Bias	±45V
T+, T-, Bias	±20mA
All Other Pins	-0.3V to (V <sub>DVDD</sub> + 0.3V)
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)	
TSSOP (derate 9.1mW/°C above +70°C)	727.3mW
ESD Protection (All pins, Human Body Model)	2000V

Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
Junction Temperature	+150°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Soldering Temperature (reflow)	See IPC/JEDEC J-STD-020A Specification

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## Package Thermal Characteristics (Note 1)

TSSOP

Junction-to-Ambient Thermal Resistance ( $\theta_{JA}$ ) ..... 110°C/W

Junction-to-Case Thermal Resistance ( $\theta_{JC}$ ) ..... 30°C/W

**Note 1:** Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to [www.maximintegrated.com/thermal-tutorial](http://www.maximintegrated.com/thermal-tutorial).

## Recommended DC Operating Conditions

(T<sub>A</sub> = -55°C to +125°C, unless otherwise noted.) (Notes 2 and 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Power-Supply Voltage	V <sub>AVDD</sub> , V <sub>DVDD</sub>		3.0	3.3	3.6	V
AVDD-DVDD			-100		+100	mV
Cable Resistance	R <sub>CABLE</sub>	Per lead			40	kΩ
Input Logic 0	V <sub>IL</sub>				0.8	V
Input Logic 1	V <sub>IH</sub>		2.1			V

## Electrical Characteristics

(3.0V ≤ V<sub>DD</sub> ≤ 3.6V, T<sub>A</sub> = -55°C to +125°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3, and 4)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Current	I <sub>DD</sub>	Standby		5.25	10	μA
		Active conversion		1.2	2	mA
Thermocouple Temperature Resolution				19		Bits
				0.0078125		°C
Cold-Junction Temperature Data Resolution				0.015625		°C
Thermocouple Input Bias Current	I <sub>TCBIAS</sub>	T <sub>A</sub> = +25°C	-10		+10	nA
		T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C	-10		+65	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +105°C	-20		+110	
		T <sub>A</sub> = -55°C to +125°C	-20		+400	

## DS18B20

## Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

### General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

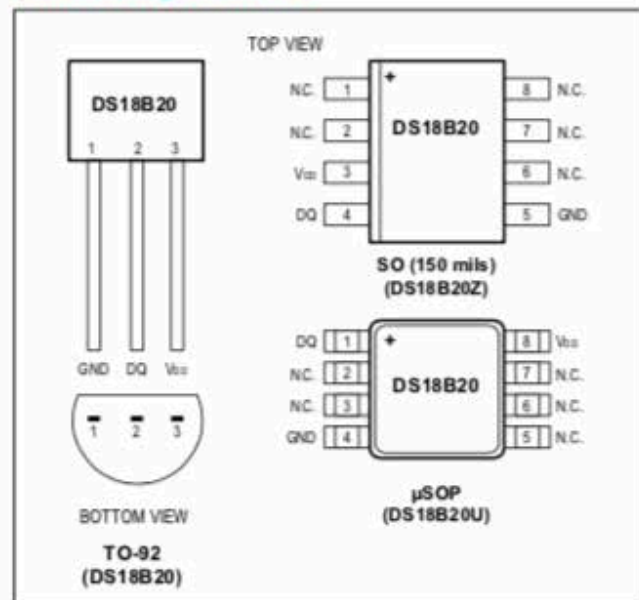
### Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

### Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
  - Measures Temperatures from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  to  $+257^{\circ}\text{F}$ )
  - $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  Accuracy from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$
  - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
  - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
  - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin  $\mu\text{SOP}$ , and 3-Pin TO-92 Packages

### Pin Configurations



[Ordering Information](#) appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

## Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground.....-0.5V to +6.0V  
Operating Temperature Range.....-55°C to +125°C

Storage Temperature Range .....-55°C to +125°C  
Solder Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC  
J-STD-020 Specification.

*These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.*

## DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C;  $V_{DD} = 3.0V$  to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{DD}$	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	$V_{PU}$	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		$V_{DD}$	
Thermometer Error	$t_{ERR}$	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	$V_{IL}$	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	$V_{IH}$	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	$I_L$	$V_{IO} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	$I_{DDS}$	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	$I_{DD}$	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	$I_{DQ}$	(Note 10)		5		μA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

**Note 1:** All voltages are referenced to ground.

**Note 2:** The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to  $V_{PU}$ . In order to meet the  $V_{IH}$  spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus:  $V_{PU\_ACTUAL} = V_{PU\_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$ .

**Note 3:** See typical performance curve in [Figure 1](#). Thermometer Error limits are 3-sigma values.

**Note 4:** Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

**Note 5:** To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions,  $V_{LMAX}$  may have to be reduced to as low as 0.5V.

**Note 6:** Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

**Note 7:** Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3μA at +125°C.

**Note 8:** To minimize  $I_{DDS}$ , DQ should be within the following ranges:  $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$  or  $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$ .

**Note 9:** Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

**Note 10:** DQ line is high ("high-Z" state).

**Note 11:** Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with  $V_{DD} = 5.5V$ .

**Anexo G. Hoja de datos del dispositivo Oxygen UV Flux**

# DATA SHEET






## LuminOx O<sub>2</sub> Sensors

### Luminescence-based Optical Series

#### FEATURES

- Luminescence-based optical technology, NOT electrochemical
- Contains no hazardous materials; RoHS & REACH compliant
- Connects directly to a microcontroller without any additional circuitry
- Factory calibrated
- High accuracy
- Maintenance free\*



<b>Housing</b>  COMPACT	<b>Supply Voltage</b>  4.5 - 5.5 V VOLTAGE	<b>Operating Temp</b>  -30°C to +60°C TEMPERATURE	<b>Output Digital</b>  TTL	<b>Response Time</b>  < 30 secs
--	--	---	--	--

#### BENEFITS

- Compact, diffusion-type housing with sealed base
- Low power, long life due to non-depleting sensing principle
- Low cost

#### TECHNICAL SPECIFICATIONS

Supply voltage (Vs)	4.5—5.5V <sub>DC</sub>
Supply current (Is)	<7.5mA (streaming one sample per second), <20mA Peak
Output Type	3.3V TTL level USART
Temperature	
Operating:	-30°C to +60°C
Storage:	-30°C to +60°C
Humidity	0—99% Rh (non-condensing)
Barometric pressure range	500—1200mbar

#### OUTPUT VALUES<sup>b</sup>

Oxygen range	0—25% O <sub>2</sub>
Oxygen pressure range	0—300mbar ppO <sub>2</sub>
Response time	T90 < 30s (typical)
Accuracy	
ppO <sub>2</sub>	< 2% FS
Temperature	Indication only
Pressure	±5mbar
O <sub>2</sub>	Determined by ppO <sub>2</sub> & pressure accuracy
Resolution	
ppO <sub>2</sub>	0.1mbar
Temperature	0.1°C
Pressure	1mbar
O <sub>2</sub>	0.01%
Lifetime	> 5 years

Other sensor options available on request, email: [technical@sstensing.com](mailto:technical@sstensing.com)

**Anexo H.** Hoja de datos del dispositivo AlphaSense

# 5,000ppm Carbon Monoxide Electrochemical Sensor

This carbon monoxide sensor is designed to provide students or scientists with proven electrochemical technology. OEMs will appreciate the low power, dependable technology for use in high volume applications.

## FEATURES

- Low power
- Low cost
- Serial interface
- Replaceable electrochemical cell

## AVAILABLE MODELS

**CM-31911 Development Kit** – Our easiest to use version, it is ready to plug into your PC via USB. Use our free GasLab® software to read and data log carbon monoxide, temperature and % relative humidity.

**CM-31910** – This PCB offers the same functionality as the development kit, but is designed to be integrated into your product.

**AP-0005** – Raw sensor only



ELECTRICAL SPECIFICATIONS	
Supply Voltage	3.3 to 5.5 VDC
Peak Supply Current	10ma
Average Power	< 3mW (1 second streaming 1 min logging)
UART Tx	3V 9600 Baud N 8 1
UART Rx Voltage	3V – 5V
Operating Temp	-30°C – 60°C
Humidity	0 – 99% RH (non-condensing)
Barometric Pressure	50 – 115 kpa

CONNECTOR PINOUT*	
GND	SELECT
3.3 – 5.5 Volt DC	GND
Rx	GND
Tx	RS485 B
Analog Out	RS485 A

### MECHANICAL SPECIFICATIONS

Dimensions	25 mm x 40mm x 29mm
Dimensions (w/sensor)	25 mm x 40mm x 13mm
Weight	6g sensor, 5.8g board
Connector	10 pin Header

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(EC3 Controller Only)

Supply Voltage	6 Volts DC
Rx Input	5.5 V
Operating Temp	-30°C – 60°C
Humidity	0 – 99% RH (non-condensing)
Pressure	500 kpa

### COMMON PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Temperature Accuracy at 20-40°C	±0.3°C
Temperature Accuracy 0 – 50°C	±2% C
Relative Humidity Accuracy 20% – 80%	±2% RH
Sensor Voltage Resolution	16 bits

### SIGNAL DEFINITIONS

GND	Power Supply and RS485 return.
+SUPPLY	+3.2 – 5.5 Volts DC
Rx	CMOS Level Input to Controller
Tx	CMOS Level (0-3V) Output from controller.
AOUT	Analog Output from controller (when enabled). Voltage is proportional to gas concentration.
SELECT	Open selects the CMOS Tx/Rx interface. Connect to GND to select the RS485 interface.
RS485 B	RS485 B Signal. High in Marking State
RS485 A	RS485 A Signal. Low in Marking State.

**Anexo I.** Hojas de datos de motores y cajas de transmisión Maxon, controlador  
Cytron

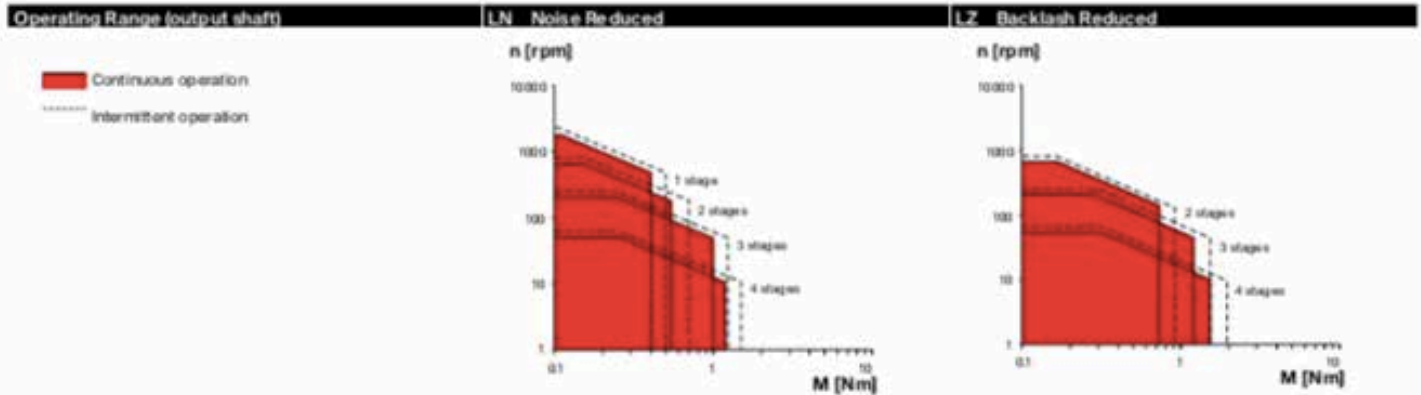


# GPX 22

## Planetary Gearhead Ø22 mm



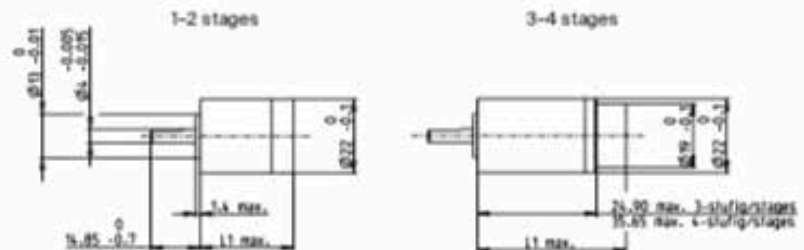
Key Data	LN Noise Reduced	LZ Backlash Reduced
Max. transmittable power	W 20	12
Max. continuous torque	Nm 1.2	1.5
Max. continuous input speed	rpm 12000	12000
Ambient temperature	°C -40 ... +85	-40 ... +100
Bearing at output	Ball bearing	Ball bearing
Typical noise level	dBA -5 dBA compared to standard configuration	



Specifications	LN Noise Reduced	LZ Backlash Reduced
Number of stages	1 2 3 4	2 3 4
Max. transmittable power (continuous)	W 20.0 10.0 5.0 1.3	12.0 6.0 1.6
Max. transmittable power (intermittent)	W 25.0 13.0 6.3 1.6	15.0 7.5 2.0
Max. continuous torque	Nm 0.40 0.55 1.00 1.20	0.70 1.20 1.50
Max. intermittent torque	Nm 0.50 0.70 1.25 1.50	0.90 1.50 1.90
Max. continuous input speed	rpm 8000 10000 12000 12000	10000 12000 12000
Max. intermittent input speed	rpm 10000 12500 15000 15000	12500 15000 15000
Max. efficiency	% 90 81 74 66	81 74 66
Average backlash no load	" 0.85 1.05 1.20 1.35	0.85 1.05 1.2
Max. axial load (dynamic)	N 40 40 40 40	40 40 40
Max. radial load, 10 mm from flange	N 65 100 120 120	100 120 120
Gearhead length L1*	mm 19.9 26.4 32.2 43.0	26.4 32.2 43.0
Weight	g 45 58 67 89	58 67 89

Configuration	LN Noise Reduced	LZ Backlash Reduced
Number of stages	1 2 3 4	2 3 4
Reduction	X1 3.9, 5.3, 6.6 16, 21, 26, 28, 35, 44 62, 83, 103, 111, 138, 150, 172, 186, 231 243, 326, 406, 439, 546, 590, 679, 794, 794, 913, 987, 1035, 1227, 1526	16, 21, 26, 28, 35, 44 62, 83, 103, 111, 138, 150, 172, 186, 231 243, 326, 406, 439, 546, 590, 679, 794, 794, 913, 987, 1035, 1227, 1526
Absolute reduction: (see online)		
Version	Standard/ceramic version/noise reduced/backlash reduced/high power/ultra performance	
Flange	Standard flange/configurable flange	
Shaft	Length/flat face/cross hole	

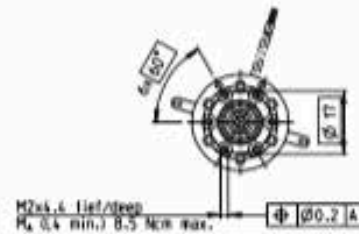
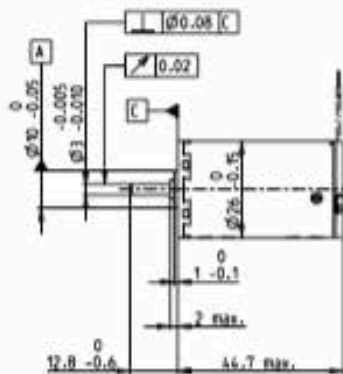
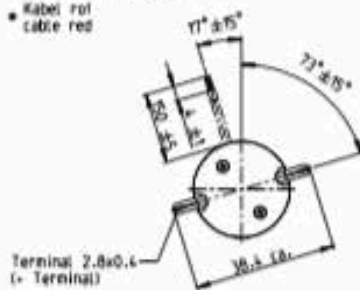
maxon Modular System	Page	Dimensions
<b>maxon DC motor</b>		
DCX 19 S	Nº of stages [opt.] 3-4	87-88
DCX 22 S	1-2 [3-4]	89-90
DCX 22 L	1-2 [3-4]	91-92
DC-max 22 S*	1-2 [3-4]	101-102
<b>maxon EC motor</b>		
ECX SPEED 19 M	Nº of stages [opt.] 3-4	193-194
ECX SPEED 19 L	3-4	197-198
ECX SPEED 22 M	1-2 [3-4]	201-202
ECX SPEED 22 L	1-2 [3-4]	205-206
ECX TORQUE 22 M	1-2	215
ECX TORQUE 22 L	1-2	216
ECX TORQUE 22 XL	1-2	217



# A-max 26 Ø26 mm, Precious Metal Brushes CLL, 7 Watt

Kabel AWG 24/7  
Kabel UL Style 1061

• Kabel rot  
• Kabel rot



A-max

## M 1:2

- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

### Part Numbers

with terminals  
with cables

110181	110182	110183	110184	110185	110186	110187	110188	110189	110190	110191
553 078	35 3079	353080	353081	329 757	35 3082	3 32818	353083	353084	353 085	353 086

### Motor Data

#### Values at nominal voltage

1	Nominal voltage	V	4.5	6	9	12	15	18	24	30	36	42	48
2	No load speed	rpm	7320	8670	8160	6780	6720	6690	5670	6090	6780	6570	6050
3	No load current	mA	78.9	777	30.2	26.3	20.7	17.1	9.97	8.9	8.76	715	5.5
4	Nominal speed	rpm	6900	8130	5000	5340	5060	5010	3940	4370	5060	4820	4280
5	Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	4.46	5.02	11.3	13.7	15.8	15.6	15.3	15.3	15.2	15	15
6	Nominal current (max. continuous current)	A	0.84	0.84	0.84	0.84	0.766	0.627	0.391	0.336	0.31	0.254	0.204
7	Stall torque	mNm	673	73.5	58.8	63.5	63.6	62.1	50.3	54.2	60.2	56.4	51.4
8	Stall current	A	11.5	11.2	4.25	3.78	3.01	2.43	1.25	1.16	1.2	0.93	0.683
9	Max. efficiency	%	84	84	84	84	84	84	83	84	84	84	83

#### Characteristics

10	Terminal resistance	Ω	0.39	0.536	212	317	4.99	7.41	19.2	25.8	30.1	45.1	70.2
11	Terminal inductance	mH	0.04	0.051	0.227	0.333	0.529	0.77	1.9	2.58	2.99	4.34	6.68
12	Torque constant	mNm/A	5.84	6.57	13.9	16.8	21.2	25.5	40.1	46.7	50.3	60.6	75.2
13	Speed constant	rpm/V	1640	1450	689	569	451	374	238	205	190	158	127
14	Speed / torque gradient	rpm/mNm	109	119	105	108	106	108	114	113	114	117	119
15	Mechanical time constant	ms	16.5	16	15	14.9	14.8	14.8	14.9	14.9	14.9	15	15
16	Rotor inertia	gcm <sup>2</sup>	14.4	12.9	13.6	13.2	13.3	13.1	12.5	12.6	12.5	12.2	12.1

### Specifications

17	Thermal resistance housing-ambient	13.2 K/W
18	Thermal resistance winding-housing	3.2 K/W
19	Thermal time constant winding	13.8 s
20	Thermal time constant motor	473 s
21	Ambient temperature	-30...+65°C
22	Max. winding temperature	+85°C

#### Mechanical data (sleeve bearings)

23	Max. speed	11000 rpm
24	Axial play	0.1 - 0.2 mm
25	Radial play	0.012 mm
26	Max. axial load (dynamic)	1.7 N
27	Max. force for press fits (static)	80 N
28	Max. radial load, 5 mm from flange	5.5 N

#### Mechanical data (ball bearings)

23	Max. speed	11000 rpm
24	Axial play	0.1 - 0.2 mm
25	Radial play	0.025 mm
26	Max. axial load (dynamic)	5 N
27	Max. force for press fits (static)	75 N
28	Max. radial load, 5 mm from flange	20.5 N

#### Other specifications

29	Number of pole pairs	1
30	Number of commutator segments	13
31	Weight of motor	117 g

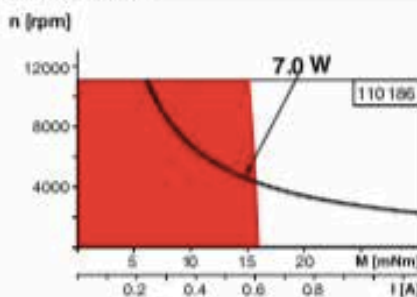
CLL = Capacitor Long Life

Values listed in the table are nominal.  
Explanation of the figures on page 72.

#### Option

Ball bearings in place of sleeve bearings  
Without CLL

### Operating Range



### Comments

- **Continuous operation**  
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient. = Thermal limit.
- Short term operation**  
The motor may be briefly overloaded (recurring).
- **Assigned power rating**

### maxon Modular System

Details on catalog page 34

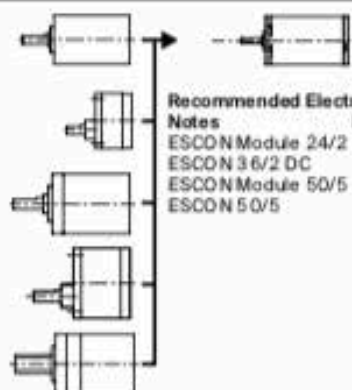
**Planetary Gearhead**  
Ø26 mm  
0.75 - 4.5 Nm  
Page 381

**Spur Gearhead**  
Ø30 mm  
0.07 - 0.2 Nm  
Page 382

**Planetary Gearhead**  
Ø32 mm  
0.75 - 6.0 Nm  
Page 383/384/387

**Spur Gearhead**  
Ø38 mm  
0.1 - 0.6 Nm  
Page 395

**Screw Drive**  
Ø32 mm  
Page 416-421



**Recommended Electronic:**  
Notes Page 34  
ESCON Module 24/2 486  
ESCON 36/2 DC 486  
ESCON Module 50/5 487  
ESCON 50/5 489

# GPX 19

## Planetary Gearhead $\varnothing 19$ mm

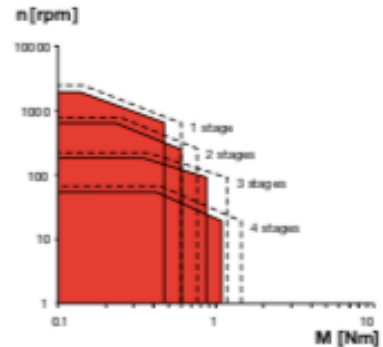
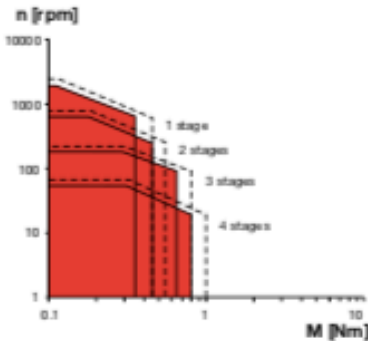


GPX

Key Data	A Standard Version	C Ceramic Version
Max. transmittable power	W 13	15.5
Max. continuous torque	Nm 0.8	13
Max. continuous input speed	rpm 14000	14000
Ambient temperature	$^{\circ}\text{C}$ -40 ... +100	-40 ... +100
Bearing at output	Ball bearing	Ball bearing

Operating Range (output shaft)	A Standard Version	C Ceramic Version
--------------------------------	--------------------	-------------------

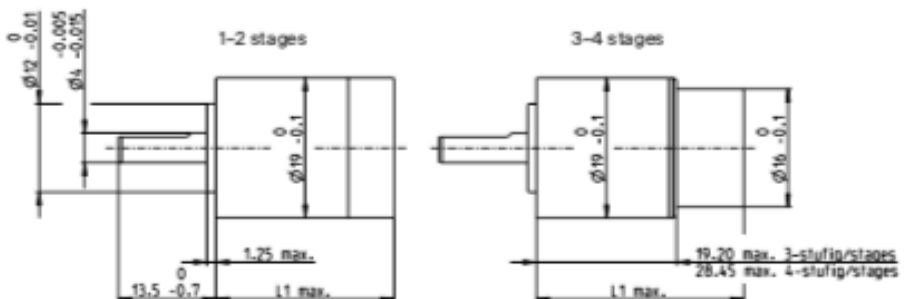
■ Continuous operation  
 ..... Intermittent operation



Specifications	A Standard Version	C Ceramic Version
Number of stages	1 2 3 4	1 2 3 4
Max. transmittable continuous power	W 13.0 6.5 3.2 0.9	15.5 7.8 3.9 1.0
Max. transmittable intermittent power	W 16.2 8.1 4.1 1.1	19.4 9.7 4.9 1.3
Max. continuous torque	Nm 0.35 0.45 0.65 0.80	0.47 0.60 0.86 1.05
Max. intermittent torque	Nm 0.45 0.55 0.80 1.00	0.60 0.75 1.10 1.30
Max. continuous input speed	rpm 10000 12000 14000 14000	10000 12000 14000 14000
Max. intermittent input speed	rpm 12500 15000 17500 17500	12500 15000 17500 17500
Max. efficiency	% 90 80 75 65	90 80 75 65
Average backlash no load	" 0.9 1.15 1.25 1.35	0.9 1.15 1.25 1.35
Max. axial load (dynamic)	N 40 40 40 40	40 40 40 40
Max. radial load, 5 mm from flange	N 50 80 90 90	50 80 90 90
Gearhead length L <sup>1</sup>	mm 16.7 22.9 270 36.2	16.7 22.9 270 36.2
Weight	g 30 40 43 55	30 40 43 55

Configuration	A Standard Version	C Ceramic Version		
Number of stages	1 2 3 4	1 2 3 4		
Reduction	X:1 3.9, 5.3, 6.6	3.9, 5.3, 6.6		
Absolute reduction: (see online)	16, 21, 26, 28, 35	16, 21, 26, 28, 35		
	62, 83, 103, 111, 138, 150, 172, 186, 231	62, 83, 103, 111, 138, 150, 172, 186, 231		
	243, 326, 405, 439, 546, 590, 679, 734, 794, 913, 987, 1135, 1227, 1526	243, 326, 405, 439, 546, 590, 679, 734, 794, 913, 987, 1135, 1227, 1526		
Version	Standard/ceramic version/noise reduced/backlash reduced/high power			
Flange	Standard flange/configurable flange			
Shaft	Length/flat face/cross hole			

maxon Modular System	Page	Dimensions
maxon DC motor	N° of stages [opt.]	
DCX 16 S	3-4	83-84
DCX 16 L	3-4	85-86
DCX 19 S	1-2 [3-4]	87-88
DC-max 16 S	3-4	99-100
maxon EC motor	N° of stages [opt.]	
ECX SPEED 16 M	3-4	185-188
ECX SPEED 16 L	3-4	189-192
ECX SPEED 19 M	1-2 [3-4]	193-196
ECX SPEED 19 L	1-2 [3-4]	197-200



<sup>1</sup>This length may vary depending on the configuration and choice of motor. The effective length is calculated at the end of the configuration process.

## 1. INTRODUCTION/OVERVIEW

[MD10C](#) is another version of the MD10B which is designed to drive high current brushed DC motor up to 13A continuously. It offers several enhancements over the MD10B such as support for both locked-antiphase and sign-magnitude PWM signal as well as using full solid state components which result in faster response time and eliminate the wear and tear of the mechanical relay.

The MD10C has been designed with the capabilities and features of:

- Bi-directional control for 1 brushed DC motor.
- Support motor voltage ranges from 5V to ~~25V~~ 30V (for Rev3.0).
- Maximum current up to 13A continuous and 30A peak (10 second).
- 3.3V and 5V logic level input.
- Solid state components provide faster response time and eliminate the wear and tear of mechanical relay.
- Fully NMOS H-Bridge for better efficiency and no heat sink is required.
- Speed control PWM frequency up to 20KHz (Actual output frequency is same as input frequency).
- Support both locked-antiphase and sign-magnitude PWM operation.
- The new MD10C can be powered from a single power source and external Vin is not required.
- Support TTL PWM from microcontroller, **not PWM from RC receiver.**
- **Dimension:**75mm x 43mm

***\*MD10C is now Revision 3.0.***

6. Input

Pin No.	Pin Name	Description
1	GND	Logic ground.
2	**PWM	PWM input for speed control
3	DIR	Direction control.

**\*\*Note that it is not for RC PWM operation**

The truth table for the control logic is as follow:

Pin 2 (PWM)	Pin 3 (DIR)	Output A	Output B
Low	X (Don't care)	Low	Low
High	Low	High	Low
High	High	Low	High

7. Green LED – Power LED. Should be on when the board is powered on.

Absolute Maximum Rating

No.	Parameters	Min	Typical	Max	Unit
1	Power Input Voltage	5	-	25	V
2	$I_{MAX}$ (Maximum Continuous Motor Current)	-	-	13	A
3	$I_{PEAK}$ – (Peak Motor Current) *	-	-	30	A
4	$V_{KOH}$ (Logic Input – High Level)	3	-	5.5	V
5	$V_{KOL}$ (Logic Input – Low Level)	0	0	0.5	V
6	Maximum PWM Frequency **	-	-	20	KHz

\* *Must not exceed 10 seconds.*

\*\* *Actual output frequency is same as input frequency.*

### 3. BOARD LAYOUT AND SPECIFICATION



1. Terminal Block – Connect to motor and power source.

Pin No.	Pin Name	Description
1	POWER +	Positive Supply
2	POWER -	Negative Supply
3	Motor Output A	Connect to motor terminal A
4	Motor Output B	Connect to motor terminal B

2. Red LED A – Turns on when the output A is high and output B is low. Indicates the current flows from output A to B.
3. Red LED B – Turns on when the output A is low and output B is high. Indicates the current flows from output B to A.
4. Test Button A – When this button is pressed, current flows from output A to B and motor will turn CW (or CCW depending on the connection).
5. Test Button B – When this button is pressed, current flows from output B to A and motor will turn CCW (or CW depending on the connection).

**Anexo J.** Hoja de datos de celdas LifePo4



AA Portable Power Corp  
 825 S 19<sup>th</sup> Street, Richmond, CA 94804  
 Tel: 510-525-2328 Fax: 510-439-2808  
<http://www.batteryspace.com> Sales@batteryspace.com

### 1. Scope

This document describes the Product Specification of the LiFePO<sub>4</sub> rechargeable cell supplied by AA Portable Power Corp .

### 2. Model : LFP-26650-3300

### 3. Specification

No.	Items	Specifications
1	Charge cut-off voltage	3.65V
2	Nominal voltage	3.2V
3	Minimal capacity	3200mAh @ 0.2C Discharge
4	Nominal capacity	3300mAh @0.2C Discharge
5	Standard charge current	0.2C
6	Standard charging method	0.2C CC (constant current) charge to 3.65V, then CV (constant voltage 3.65V) charge till charge current decline to $\leq 0.05C$
7	Charging time	Standard charge: 7.0 hours Ref
8	Max. charge current	2C
9	Max. continue discharge current	10A (Cell skin temperature cannot exceed 80°C)
10	Discharge cut-off voltage	2.0V
11	Operating temperature	Charging: 0°C ~ 45°C Discharging: -20°C ~ 60°C (Cell skin temperature cannot exceed 80°C)
12	Storage temperature/humidity	Temperature -10°C ~ +35°C Humidity 65%±20%RH (Recommended to store 23 ± 5°C for long term storage)
13	Cell Weight	80.0g±1.0g
14	Cell Dimension	Length: 65.5±0.3 mm Width: 26.3±0.2 mm



AA Portable Power Corp  
 825 S 19<sup>th</sup> Street, Richmond, CA 94804  
 Tel: 510-525-2328 Fax: 510-439-2808  
<http://www.batteryspace.com> Sales@batteryspace.com

#### 4. Cell Performance Criteria

##### 4.1. Electrical characteristics

No.	Items	Test Method and Condition	Criteria		
1	Standard Charge	Charging the cell initially with constant current at 0.2C and then with constant voltage at 3.65V till charge current declines to 0.05C.	N.A.		
2	Rated Cap 0.2C	Capacity measured with discharge current of 0.2C with 2.0V cut-off voltage after the standard charge.	≥3250mAh		
	Rated Cap 0.5C	Capacity measured with discharge current of 0.5C with 2.0V cut-off voltage after the standard charge.	≥3200mAh		
	Rated Cap 1C	Capacity measured with discharge current of 1C with 2.0V cut-off voltage after the standard charge.	≥3150mAh		
	Rated Cap 2C	Capacity measured with discharge current of 2C with 2.0V cut-off voltage after the standard charge.	≥3100mAh		
	Rated Cap 3C	Capacity measured with discharge current of 3C with 2.0V cut-off voltage after the standard charge.	≥3050mAh		
3	Life Expectation	Test condition : Temperature: 23±5°C Charge: 0.5C CC to 3.65V, and CV to 0.05C cut off Discharge: 0.5C discharge to 2.0V 80% or more of 1 <sup>st</sup> cycle capacity at 0.2C discharge of operation	≥ 2000 times		
4	Storage Performance	Cell stored at 25°C with 50% SOC			
			1 Month	3 Months	6 Months
		Cap Retention	90%	85%	80%
	Cap Recovery	95%	90%	85%	
5	Initial Impedance	Internal resistance measured at AC 1KHz after 50% charge	≤ 20 m ohms		
6	Cell Voltage	As of shipment	3.2V ~ 3.4V		

**Anexo K.** Hoja de datos (parcial) de Nvidia Jetson Nano y NodeMCU ESP32



## DATA SHEET

# NVIDIA Jetson Nano System-on-Module

Maxwell GPU + ARM Cortex-A57 + 4GB LPDDR4 + 16GB eMMC

### Maxwell GPU<sup>®</sup>

128-core GPU | End-to-end lossless compression | Tile Caching | OpenGL<sup>®</sup> 4.6 | OpenGL ES 3.2 | Vulkan™ 1.1 | CUDA<sup>®</sup> | OpenGL ES Shader Performance (up to): 512 GFLOPS (FP16) | Maximum Operating Frequency: 921MHz

### CPU

ARM<sup>®</sup> Cortex<sup>®</sup>-A57 MPCore (Quad-Core) Processor with NEON Technology | L1 Cache: 48KB L1 instruction cache (I-cache) per core; 32KB L1 data cache (D-cache) per core | L2 Unified Cache: 2MB | Maximum Operating Frequency: 1.43GHz

### Audio

Industry standard High Definition Audio (HDA) controller provides a multichannel audio path to the HDMI interface.

### Memory

Dual Channel | System MMU | Memory Type: 4ch x 16-bit LPDDR4 | Maximum Memory Bus Frequency: 1600MHz | Peak Bandwidth: 25.6 GB/s | Memory Capacity: 4GB

### Storage

eMMC 5.1 Flash Storage | Bus Width: 8-bit | Maximum Bus Frequency: 200MHz (HS400) | Storage Capacity: 16GB

### Boot Sources

eMMC and USB (recovery mode)

### Networking

10/100/1000 BASE-T Ethernet | Media Access Controller (MAC)

### Imaging

Dedicated RAW to YUV processing engine process up to 1400Mpix/s (up to 24MP sensor) | MIPI CSI 2.0 up to 1.5Gbps (per lane) | Support for x4 and x2 configurations (up to four active streams).

### Operating Requirements

Temperature Range (T<sub>j</sub>): -25 – 97C\* | Module Power: 5 – 10W | Power Input: 5.0V

### Display Controller

Two independent display controllers support DSI, HDMI, DP, eDP: MIPI-DSI (1.5Gbps/lane): Single x2 lane | Maximum Resolution: 1920x960 at 60Hz (up to 24bpp) | HDMI 2.0a/b (up to 6Gbps) | DP 1.2a (HBR2 5.4 Gbps) | eDP 1.4 (HBR2 5.4 Gbps) | Maximum Resolution (DP/eDP/HDMI): 3840 x 2160 at 60Hz (up to 24bpp)

### Clocks

System clock: 38.4MHz | Sleep clock: 32.768kHz | Dynamic clock scaling and clock source selection

### Multi-Stream HD Video and JPEG

#### Video Decode

H.265 (Main, Main 10): 2160p 60fps | 1080p 240fps  
H.264 (BP/MP/HP/Stereo SEI half-res): 2160p 60fps | 1080p 240fps  
H.264 (MVC Stereo per view): 2160p 30fps | 1080p 120fps  
VP9 (Profile 0, 8-bit): 2160p 60fps | 1080p 240fps  
VP8: 2160p 60fps | 1080p 240fps  
VC-1 (Simple, Main, Advanced): 1080p 120fps | 1080i 240fps  
MPEG-2 (Main): 2160p 60fps | 1080p 240fps | 1080i 240fps

#### Video Encode

H.265: 2160p 30fps | 1080p 120fps  
H.264 (BP/MP/HP): 2160p 30fps | 1080p 120fps  
H.264 (MVC Stereo per view): 1440p 30fps | 1080p 60fps  
VP8: 2160p 30fps | 1080p 120fps

JPEG (Decode and Encode): 600MP/s

### Peripheral Interfaces

xHCI host controller with integrated PHY: 1 x USB 3.0, 3 x USB 2.0 | USB 3.0 device controller with integrated PHY | EHCI controller with embedded hub for USB 2.0 | 4-lane PCIe: one x1/2/4 controller | single SD/MMC controller (supporting SDIO 4.0, SD HOST 4.0) | 3 x UART | 2 x SPI | 4 x I2C | 2 x I2S: support I2S, RJM, LJM, PCM, TDM (multi-slot mode) | GPIOs

### Mechanical

Module Size: 69.6 mm x 45 mm | PCB: 8L HDI | Connector: 260 pin SO-DIMM

# 1. Overview

ESP32 is a single 2.4 GHz Wi-Fi-and-Bluetooth combo chip designed with the TSMC ultra-low-power 40 nm technology. It is designed to achieve the best power and RF performance, showing robustness, versatility and reliability in a wide variety of applications and power scenarios.

The ESP32 series of chips includes ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDQ6-V3, ESP32-D0WD, ESP32-D0WDQ6, ESP32-D2WD, ESP32-S0WD, and ESP32-U4WDH, among which, ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDQ6-V3, and ESP32-U4WDH are based on ECO V3 wafer.

For details on part numbers and ordering information, please refer to Section 7.

For details on ECO V3 instructions, please refer to [ESP32 ECO V3 User Guide](#).

## 1.1 Featured Solutions

### 1.1.1 Ultra-Low-Power Solution

ESP32 is designed for mobile, wearable electronics, and Internet-of-Things (IoT) applications. It features all the state-of-the-art characteristics of low-power chips, including fine-grained clock gating, multiple power modes, and dynamic power scaling. For instance, in a low-power IoT sensor hub application scenario, ESP32 is woken up periodically and only when a specified condition is detected. Low-duty cycle is used to minimize the amount of energy that the chip expends. The output of the power amplifier is also adjustable, thus contributing to an optimal trade-off between communication range, data rate and power consumption.

**Note:**

For more information, refer to Section 3.7 *RTC and Low-Power Management*.

### 1.1.2 Complete Integration Solution

ESP32 is a highly-integrated solution for Wi-Fi-and-Bluetooth IoT applications, with around 20 external components. ESP32 integrates an antenna switch, RF balun, power amplifier, low-noise receive amplifier, filters, and power management modules. As such, the entire solution occupies minimal Printed Circuit Board (PCB) area.

ESP32 uses CMOS for single-chip fully-integrated radio and baseband, while also integrating advanced calibration circuitries that allow the solution to remove external circuit imperfections or adjust to changes in external conditions. As such, the mass production of ESP32 solutions does not require expensive and specialized Wi-Fi testing equipment.

## 1.2 Wi-Fi Key Features

- 802.11 b/g/n
- 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- WMM
- TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU

- Immediate Block ACK
- Defragmentation
- Channel bonding (hardware TSF)

#### Reducir el documento

- 4 x virtual Wi-Fi interfaces
- Simultaneous support for Infrastructure Station, SoftAP, and Promiscuous modes  
Note that when ESP32 is in Station mode, performing a scan, the SoftAP channel will be changed.
- Antenna diversity

#### Note:

For more information, please refer to Section 3.5 [Wi-Fi](#).

## 1.3 BT Key Features

- Compliant with Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specifications
- Class-1, class-2 and class-3 transmitter without external power amplifier
- Enhanced Power Control
- +12 dBm transmitting power
- NZIF receiver with -94 dBm BLE sensitivity
- Adaptive Frequency Hopping (AFH)
- Standard HCI based on SDIO/SPI/UART
- High-speed UART HCI, up to 4 Mbps
- Bluetooth 4.2 BR/EDR BLE dual mode controller
- Synchronous Connection-Oriented/Extended (SCO/eSCO)
- CVSD and SBC for audio codec
- Bluetooth Piconet and Scatternet
- Multi-connections in Classic BT and BLE
- Simultaneous advertising and scanning

## 1.4 MCU and Advanced Features

### 1.4.1 CPU and Memory

- Xtensa® single-/dual-core 32-bit LX6 microprocessor(s), up to 600 MIPS (200 MIPS for ESP32-S0WD/ESP32-U4WDH, 400 MIPS for ESP32-D2WD)
- 448 KB ROM
- 520 KB SRAM
- 16 KB SRAM in RTC
- QSPI supports multiple flash/SRAM chips

### 1.4.2 Clocks and Timers

- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz ~ 60 MHz crystal oscillator (40 MHz only for Wi-Fi/BT functionality)
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 × 64-bit timers and 1 × main watchdog in each group
- One RTC timer
- RTC watchdog

### 1.4.3 Advanced Peripheral Interfaces

- 34 × programmable GPIOs
- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 × 8-bit DAC
- 10 × touch sensors
- 4 × SPI
- 2 × PS
- 2 × PC
- 3 × UART
- 1 host (SD/eMMC/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- CAN 2.0
- IR (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels
- Hall sensor

### 1.4.4 Security

- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Cryptographic hardware acceleration:
  - AES
  - Hash (SHA-2)
  - RSA

## 1.6 Block Diagram

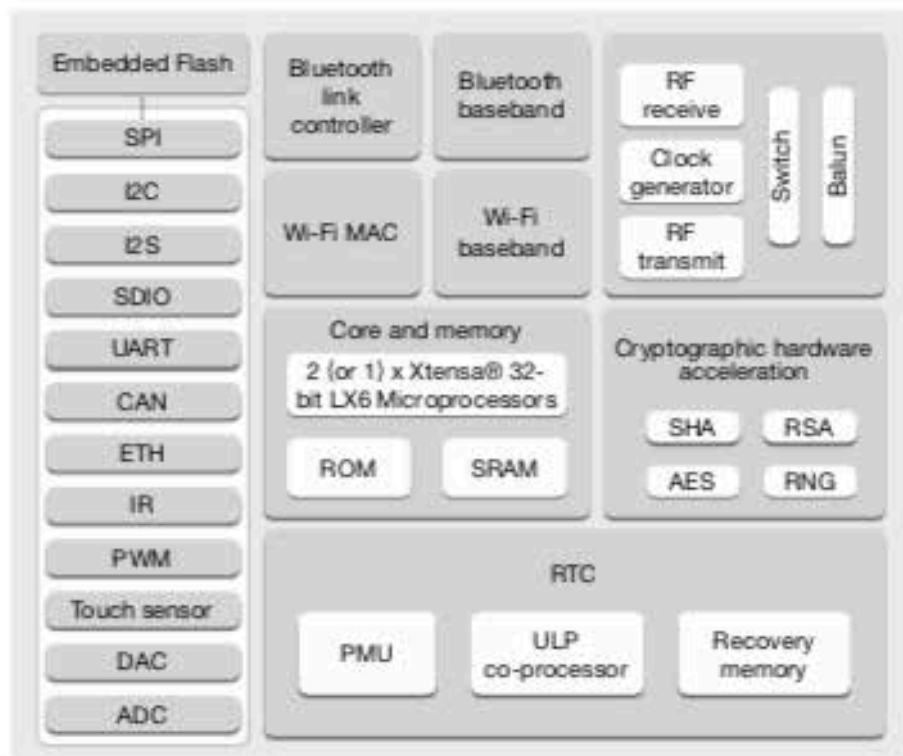


Figure 1: Functional Block Diagram

**Note:**

Products in the ESP32 series differ from each other in terms of their support for embedded flash and the number of CPUs they have. For details, please refer to Section 7 *Part Number and Ordering Information*.

**Anexo L.** Hoja de datos del dispositivo GlobalSAT.

## Technical details

### General specifications

- Sirf Star IV High Performance GPS Chipset
- High Sensitiv (Tracking sensitivity: -163 dBm)
- Very short TTFF (Time To First Fix) even with low signal
- Support of NMEA 0183 protocol
- Internal memory for faster re-tracking of position
- Internal patch aerial
- Magnetical case bottom
- Internal USB to Serial bridge
- Waterproof and rugged casing
- LED for GPS Status

### Specifications

- Chipset: SIRF Star IV
- Frequency: L1, 1575.42 MHz
- C/A Code: 1.023 MHz
- Channels: 48 Kanäle max.
- Sensivity: -163 dBm
- Accuracy 2m, 2D RMS SBAS
- Acceleration: 0.1 m/s
- Time: 1us to GPS time

### Date

- Standard setting: WGS-84

### Positioning times

- Re-Tracking: 0.1 sek., average
- Hot start: 8 sek., average
- Warm start: 35 sek., average
- Cold start: 35 sek., average

### Dynamical environments

- Reception height: Max. 18,000 Meters (60,000 Feet)
- Reception speed: Max. 515 Meter /second (1000 Knoten)
- Acceleration: Max. 4g
- Shock: Max. 20m/Sek x 3

### Power supply

- Power connection: 5V DC by USB port
- Power consumption: approx. 60mA

### Interface

- Protocol type: TTL
- Output voltage: 0V-2.85V
- Baudrate: 4,800 bps
- Output protocol: NMEA 0183 GGA, GSA, GSV, RMC, VTG, GLL v2.2 (VTG and GLL are optional)

### Physical

- Dimensions: 59mm x 47mm x21mm

**Anexo L.** Tablas para evaluación de factibilidad económica

## Lista de Componentes

Componente/Dispositivo	Voltaje(V)	Corriente(A)	Energía (Wh)	Comunicación	Largel (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (Kg)	Temp (°C)	Link	Precio (USD)
RPLIDAR A2M8 360 ° Laser-Scanner	5	0,6	3	TTL UART	76	76	41	0,19	0 - 45	<a href="https://bit.ly/380CPy5">https://bit.ly/380CPy5</a>	370
Intel Realsense D435i Camera	5	0,7	3,5	USB2.0	90	25	25	0,072	0 - 40	<a href="https://bit.ly/3eah0Ih">https://bit.ly/3eah0Ih</a>	199
UV Flux 25% Oxygen Smart Sensor	5	0,006	0,03	USB2.0	40	25	22	0,012	(-30) - 60	<a href="https://bit.ly/2NvMqb8">https://bit.ly/2NvMqb8</a>	199
Alphasense 5,000ppm Carbon Monoxide Smart EC Sensor	5		0,003	USB2.0	40	25	29	0,012	(-30) - 60	<a href="https://bit.ly/2NcZr0W">https://bit.ly/2NcZr0W</a>	229
Max31856 Termocouple Digital Converter	5	0,007	0,035	SPI	25	20	15	0,03	(-55) - 125	<a href="https://bit.ly/37V4wb1">https://bit.ly/37V4wb1</a>	6,5
DS18B20 Digital Temperature Sensor Module	5	0,001	0,005	1-Wire	20	15	10	0,004	(-55) - 85	<a href="https://bit.ly/2YvWRJC">https://bit.ly/2YvWRJC</a>	3
DS18B20 Digital Temperature Sensor Module	5	0,001	0,005	1-Wire	20	15	10	0,004	(-55) - 85	<a href="https://bit.ly/2YvWRJC">https://bit.ly/2YvWRJC</a>	3
DS18B20 Digital Temperature Sensor Module	5	0,001	0,005	1-Wire	20	15	10	0,004	(-55) - 85	<a href="https://bit.ly/2YvWRJC">https://bit.ly/2YvWRJC</a>	3
Maxon, DCX 22 S Graphite Brushes DC Motor 14,6 mNm	12	1,65	19,8	None	44	22	22	0,066	(-40) - 100	<a href="https://bit.ly/2Z9Vnfl">https://bit.ly/2Z9Vnfl</a>	146,62
Maxon, A MAX 26 CLL Metal Brushes DC Motor	12	0,84	10,08	None	57,5	26	26	0,11	(-30) - 65	<a href="https://bit.ly/3ebhv3a">https://bit.ly/3ebhv3a</a>	110,97
Maxon, A MAX 26 CLL Metal Brushes DC Motor	12	0,84	10,08	None	57,5	26	26	0,11	(-30) - 65	<a href="https://bit.ly/3ebhv3a">https://bit.ly/3ebhv3a</a>	110,97
Maxon, GPX 22 LN Planetary Gearhead 1 Nm 62:1	0	0	0	None	40	22	22	0,067	(-40) - 85	<a href="https://bit.ly/2BkUeW">https://bit.ly/2BkUeW</a>	128,18
Maxon, GPX 19 Planetary Gearhead 0,45 Nm 28:1	0	0	0	None	32,7	19	19	0,04	(-40) - 100	<a href="https://bit.ly/3gd238X">https://bit.ly/3gd238X</a>	94,9
Maxon, GPX 19 Planetary Gearhead 0,45 Nm 28:1	0	0	0	None	32,7	19	19	0,04	(-40) - 100	<a href="https://bit.ly/3gd238X">https://bit.ly/3gd238X</a>	94,9
Life Po4 12v 5Ah	12	5	60	None	90	70	101	0,67	(-20) - 60	<a href="https://bit.ly/3fj0o7">https://bit.ly/3fj0o7</a>	82,5
Life Po4 12v 3Ah	12	3	36	None	149	21	69	0,369	(-20) - 60	<a href="https://bit.ly/3ebw8l">https://bit.ly/3ebw8l</a>	52,95
Life Po4 12v 3Ah	12	3	36	None	149	21	69	0,369	(-20) - 60	<a href="https://bit.ly/3ebw8l">https://bit.ly/3ebw8l</a>	52,95
Adaptador Wifi USB	5	0	0	USB	20	15	8	0,001	(-20) - 100	<a href="https://amazon.to/2Z2Cubn">https://amazon.to/2Z2Cubn</a>	11,9
Jetson Nano	5	2	10	Varios	100	80	29	0,25	(-25) - 85	<a href="https://bit.ly/3e6BDPV">https://bit.ly/3e6BDPV</a>	99
NodeMCU ESP32 Bluetooth Wifi	5	0,5	2,5	Varios	25,4	48,26	3	0,023	(-40) - 120	<a href="https://amazon.to/2Z7D2w5">https://amazon.to/2Z7D2w5</a>	7,5
NodeMCU ESP32 Bluetooth Wifi	5	0,5	2,5	Varios	25,4	48,26	3	0,023	(-40) - 120	<a href="https://amazon.to/2Z7D2w5">https://amazon.to/2Z7D2w5</a>	7,5
GlobalSat BU-353-S4, receptor GPS USB	5	0,08	0,4	USB	53	53	19	0,062	(-40) - 85	<a href="https://amazon.to/3e44Bv5">https://amazon.to/3e44Bv5</a>	33,21
DC Motor Controller Cytron	12	1,28	15,36	Varios	75	43	3	0,02	(-40) - 120	<a href="https://bit.ly/3lOUhA">https://bit.ly/3lOUhA</a>	11,5
DC Motor Controller Cytron	12	1,28	15,36	Varios	75	43	3	0,02	(-40) - 120	<a href="https://bit.ly/3lOUhA">https://bit.ly/3lOUhA</a>	11,5
DC Motor Controller Cytron	12	1,28	15,36	Varios	75	43	3	0,02	(-40) - 120	<a href="https://bit.ly/3lOUhA">https://bit.ly/3lOUhA</a>	11,5
Glow Tape	0	0	0	None	3000	25	0	0	None	<a href="https://amazon.to/2VSElGp">https://amazon.to/2VSElGp</a>	10
LED Light Pod	12	0,033	0,396	None	30	15	15	0,028	(-20) - 100	<a href="https://amazon.to/2Cg5vm">https://amazon.to/2Cg5vm</a>	10
LED Light Pod	12	0,033	0,396	None	30	15	15	0,028	(-20) - 100	<a href="https://amazon.to/2Cg5vm">https://amazon.to/2Cg5vm</a>	10
Custom Track System by RubiTrack x3	0	0	0	None	0	0	0	1,2	0	<a href="https://bit.ly/2O4TTtG">https://bit.ly/2O4TTtG</a>	400
Tempsen S Type Termocouple	0	0	0	None	300	3	3	0,02	0 - 1600	<a href="https://bit.ly/3fhnUnz">https://bit.ly/3fhnUnz</a>	500
<b>TOTAL</b>			<b>240,815</b>					<b>3,864</b>			<b>3011,05</b>

### Superficie de Material Requerida

Item	mm2	Cant	Total (mm2)
Modulo	150.151,40	3	450454,191
Cubierta luz	31.329,78	2	62659,558
Perfil Estructural Central	146.430,32	1	146430,315
Perfil Lateral	35.650	2	71300
<b>TOTAL</b>			<b>730844,064</b>

### Costo de Materiales de Fabricación

Item	mm2	Requerido(x1,2)	Nro de laminas	Precio (USD)	Total	Link
Fibra de Carbono 2 x 200 x 300 mm	60.000	877012,8768	15	27	405	<a href="https://amzn.to/3f7hYvY">https://amzn.to/3f7hYvY</a>
Policarbonato 3 x 610 x 910 mm	555.100	877012,8768	2	40	80	<a href="https://amzn.to/2BJQIoN">https://amzn.to/2BJQIoN</a>
<b>TOTAL</b>					<b>485</b>	

### Costo Total

Item	Costo
Componentes	3011,05
Estructura	485
Envío + Miscelaneos	300
<b>TOTAL</b>	<b>3796,05</b>