

**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO DE ROBOT MODULAR, COOPERATIVO**

**PARA PROCESOS DE INSPECCIÓN**

**Y RESCATE**

**Autor:**

Castellano, Hermes

Urb. Yuma II, Calle N. º 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 PROCESOS DE INSPECCIÓN Y RESCATE. CASO: LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR EN SARTENEJAS, DISTRITO CAPITAL, VENEZUELA.**

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

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autor:**

Castellano, Hermes

C.I. 26.424.185

**Tutor académico:**

MSc. Wilmer Sanz

C.I. 7.130.496

San Diego, Febrero 2020

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, MSc. Wilmer Sanz, portador(a) de la cédula de identidad N.º 7.130.496, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Hermes Castellano portador de la cédula de identidad N.º 26.424.185, titulado **“DISEÑO DE ROBOT MODULAR, COOPERATIVO PARA PROCESOS DE INSPECCIÓN Y RESCATE”**, presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniero electrónico, acepto la tutoría del mencionado proyecto durante su etapa de desarrollo hasta su elaboración y evaluación, según las condiciones de la Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez y sus correspondientes reglamentos.

En San Diego, a los cinco días del mes de febrero del año dos mil veinte.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

MSc. Wilmer Sanz C.I. 7.130.496

****

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**

**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

San Diego, Febrero de 2020

**ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quienes suscriben esta acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **DISEÑO DE ROBOT MODULAR, COOPERATIVO PARA PROCESOS DE INSPECCIÓN Y RESCATE,** ha sido revisado y, cumplido con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente

MSc. Wilmer Sanz \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Tutor Académico Firma Fecha

Ing. Alicia de Pizzella \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Tutor Metodológico Firma Fecha

**ÍNDICE GENERAL**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **CONTENIDO** | | pp. |
| **RESUMEN** **INFORMATIVO**........................................................................... | | xi |
| **INTRODUCCIÓN**.............................................................................................. | | 1 |
|  | |  |
| **CAPÍTULO** | |  |
|  | |  |
| **I** | **EL PROBLEMA** |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 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............................................................. | 5 |
|  | 1.4 | Justificación....................................................................................... | | 5 |
|  | 1.5 | Alcance.............................................................................................. | | 7 |
|  | | | | |
| **II** | **MARCO TEÓRICO** | | |  |
|  | 2.1 | Antecedentes...................................................................................... | | 8 |
|  | 2.2 | Bases Teóricas................................................................................... | | 12 |
|  |  | 2.2.1 | Robots…………………………………............................... | 12 |
|  |  | 2.2.2 | Robots de Búsqueda y Rescate……………......................... | 13 |
|  |  | 2.2.3 | Tipos de Robots de Búsqueda y Rescate.............................. | 15 |
|  |  | 2.2.4 | Robots Reconfigurables…………..……………………….. | 16 |
|  |  | 2.2.5 | Robots Modulares................................................................ | 18 |
|  |  | 2.2.6 | Componentes de un Robot.................................................... | 19 |
|  |  | 2.2.7 | Simulación de Robots........................................................... | 22 |
|  |  | 2.2.8 | Sistema Operativo Robótico………………………………. | 24 |
|  |  | 2.2.9 | Plataforma de Experimentación de Robots Virtual………... | 25 |
|  | 2.3 | Bases Legales …………………........................................................ | | 27 |
|  | 2.4 | Definición de Términos Básicos…………………………………… | | 28 |
|  | | | | |
| **III** | **MARCO** **METODOLÓGICO** | | |  |
|  | 3.1 | Tipo de Investigación………............................................................. | | 32 |
|  | 3.2 | Nivel de Investigación....................................................................... | | 33 |
|  | 3.3 | Diseño de Investigación..................................................................... | | 33 |
|  | 3.4 | Población y Muestra…...................................................................... | | 34 |
|  | 3.5 | Técnicas e Instrumentos de Investigación......................................... | | 34 |
|  |  | 3.5.1 | Técnicas de Recolección de Datos........................................ | 35 |
|  |  |  | 3.5.1.1 Revisión Documental……………………………… | 35 |
|  |  |  | 3.5.1.2 Entrevista………………………………………….. | 35 |
|  |  | 3.5.2 | Instrumentos de Recolección de Datos................................. | 36 |
|  | 3.6 | Fases de la Investigación................................................................... | | 36 |
|  | | | | |
| **IV** | **RECURSOS** | | |  |
|  | 4.1 | Recursos Humanos….….................................................................... | | 38 |
|  | 4.2 | Recursos Interinstitucionales…………………………….........…… | | 38 |
|  | 4.3 | Recursos Materiales………………...……………………………… | | 39 |
|  | 4.4 | Cronograma de Actividades………………………………………... | | 39 |
| **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**............................................................. | | | | 40 |

**ÍNDICE DE CUADROS**

TABLAS CONTENIDO pp

**TABLA I**: Cronograma de actividades………………………………………...... 39

**ÍNDICE DE FIGURAS**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **FIGURA CONTENIDO** | | pp. |
| 1 | Tareas de un robot en operaciones de búsqueda y rescate................................. | 14 |
| 2 | Esquema de reconfiguración determinista.......................................................... | 17 |
| 3 | Esquema de reconfiguración estocástica............................................................ | 17 |
| 4 | Sensor de temperatura y humedad pasivo ……………………………………. | 20 |
| 5 | Representación gráfica de simulación de un sistema ……………………...…. | 23 |
| 6 | Ejemplos de software de simulación ………………………………...……….. | 24 |
| 7 | Captura de pantalla de VRE-P............................................................................ | 26 |



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**

**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE ROBOT MODULAR, COOPERATIVO**

**PARA PROCESOS DE INSPECCIÓN**

**Y RESCATE.**

**Autor:** Hermes Castellano

**Tutor:** MSc. Wilmer Sanz

**Fecha:** Febrero 2020

**RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo el diseño de un robot modular y cooperativo para su aplicación en situaciones de inspección y rescate de víctimas luego de desastres o situaciones de emergencia. El presente proyecto se encuentra dirigido por el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar. El sistema a diseñar representará una herramienta útil para equipos que ofrezcan servicios de emergencia, debido a que permitirá salvaguardar la integridad tanto de los afectados como de los rescatistas, al no tener que poner en peligro la vida de estos últimos en zonas de alto riesgo. El robot tendrá la capacidad de ser controlado de manera remota, ingresar a las zonas de alto riesgo y ofrecer información relevante de la situación en tiempo real. Para el cumplimiento del objetivo principal, en una primera instancia se diagnosticarán las necesidades del equipo de bomberos voluntarios USB para que estas puedan ser tomadas en cuenta durante la etapa de diseño y así ser satisfechas. Seguidamente, se estudiará el funcionamiento de los robots modulares para luego iniciar la fase de diseño en un entorno virtual. Finalmente, se seleccionará un ambiente y condiciones de simulación para comprobar la funcionalidad del diseño obtenido.

**Descriptores:** robot modular, diseño de robots, simulación, inspección y rescate, servicios de emergencia.

**INTRODUCCIÓN**

Un desastre es un hecho natural o provocado por la acción del hombre que afecta de manera negativa la vida de 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 victimas 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 operaciones de búsqueda y rescate 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 inspección y rescate de victimas luego de situaciones de desastre. El proyecto se encuentra dirigido por el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar, Distrito Capital, 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 estructuro en cuatro (4) capítulos, tal como se describen a continuación:

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

**Capitulo 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.

**Capitulo 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 recursos que se emplean en la investigación y diseño del sistema robótico planteado.

**CAPÍTULO I**

**EL PROBLEMA**

* 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 perdidas 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.

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. **Formulación del Problema**

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se formula la siguiente interrogante: ¿ qué características debe presentar el modelo de un robot modular, cooperativo para que sea funcional en procesos de inspección y rescate ?

**1.3 Objetivos de la Investigación**

**1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un robot modular, cooperativo para procesos de inspección y rescate.

**1.3.2 Objetivos Específicos**

* Diagnosticar las necesidades que presentan los equipos de rescate pertenecientes a la Universidad Simón Bolívar (USB).
* Analizar el funcionamiento de los robots modulares, reconfigurables en operaciones de inspección y rescate.
* Diseñar el robot modular y cooperativo en un ambiente virtual.
* Comprobar el funcionamiento del modelo elaborado a través de una simulación.

**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 victimas 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 plantea el diseño de un robot modular, reconfigurable que pueda ser controlado de manera remota por un operador capacitado y que forme parte en 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, reconfigurable 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 especifico para su uso, pues provocaron el re-direccionamiento 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 “AMOEBA-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.

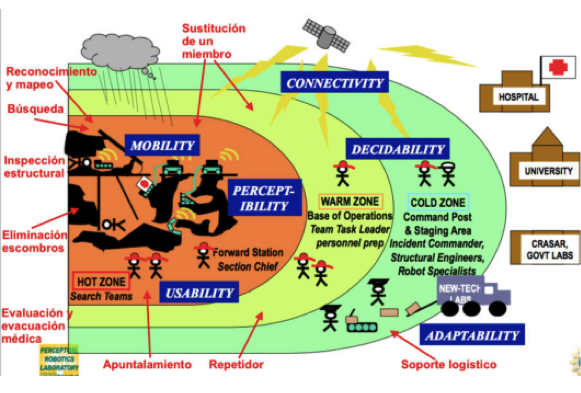
**2.2.1 Robots**

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.

**2.2.2 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 esta 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 asistirlas.
* **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)

**2.2.3 Tipos de Robots de Búsqueda y Rescate**

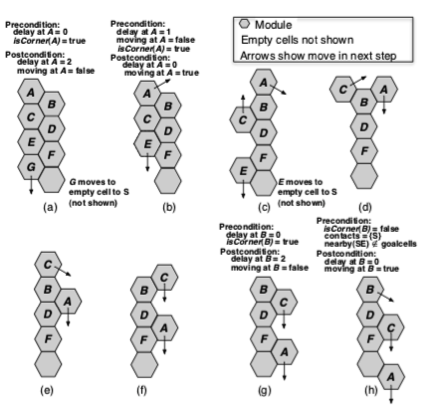
Murphy, et al. (2008) definieron diferentes tipos de robots de búsqueda y rescate según el medio donde toman acción y su tamaño:

* **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 victimas.
* **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.

**2.2.4 Robots Reconfigurables**

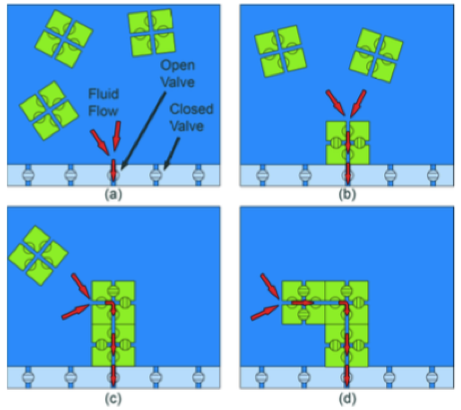
Dentro de las denominaciones que reciben los robots esta la categoría reconfigurable, que es definida por Yim, Shen, Salemi, Rus, Moll, Lipson, Klavins y Chirikjian (2007) como aquellos robots que más allá de poseer propiedades sensoriales, de actuación y control como cualquier robot de morfología fija, 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.
* **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 2.** Esquema de reconfiguración determinista.

Fuente: Wong, Walter (2013)



**Figura 3.** Esquema de reconfiguración estocástica.

Fuente: Tolley, Hiller, Lipson (2011)

**2.2.5 Robots Modulares**

Los robots modulares, como su nombre lo indica, están construidos 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.

**2.2.6 Componentes de un Robot**

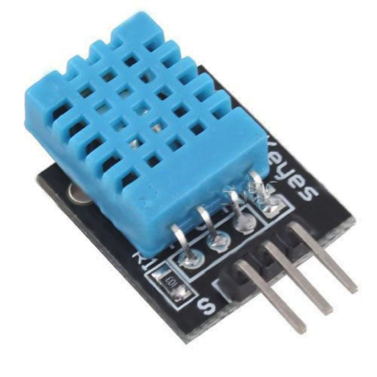
Todo sistema es descrito a través de los elementos que lo componen, Kalil y Dombre (2006) describen a un robot como una máquina compuesta por un esqueleto mecánico, actuadores, sensores, un controlador y un sistema de comunicación, que representan los elementos del sistema y permiten que éste cumpla 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 movibles 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 especificas 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.

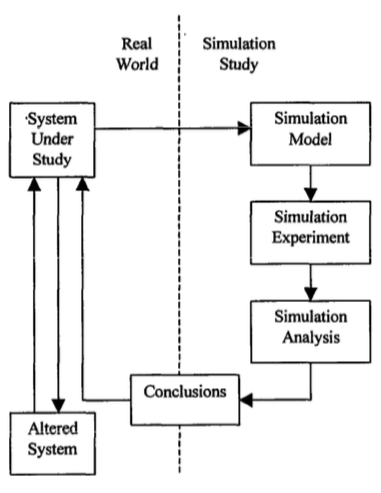
**2.2.7 Simulación de Robots**

Zˇlajpah (2008) explica que una simulación es el proceso de diseñar el modelo de un sistema físico real o teórico, ejecutar el modelo, y analizar los resultados de dicha ejecución. Con ello, una persona puede diseñar, visualizar y evaluar el comportamiento de un sistema, incluso si este no existe. A esto se suma, la posibilidad de probar características de un sistema ya instalado sin el riesgo de 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:

1. Identificar un problema
2. Formulación del problema
3. Recopilar y procesar información real del sistema
4. Formular y diseñar un modelo
5. Validar el modelo
6. Documentar el modelo para uso futuro
7. Seleccionar un diseño experimental adecuado
8. Establecer condiciones experimentales para las ejecuciones
9. Ejecución de simulaciones
10. Interpretar y presentar resultados
11. 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 especificas. 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 diseño de robots. Según Zˇlajpah (2008), esta herramienta permite el estudio de las 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)

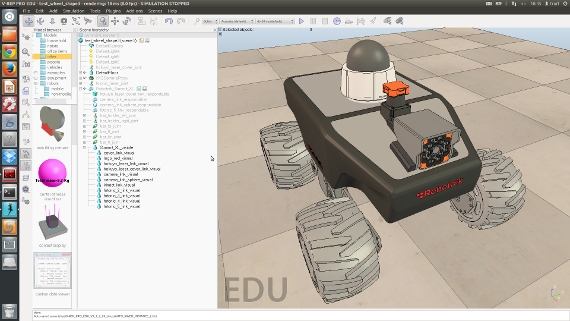
**2.2.8 Sistema Operativo Robótico (ROS)**

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 el 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.

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.

**2.2.9 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. 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 especifica.
* **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 especifica 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 especifica.

**Middleware:** software que se sitúa entre un sistema operativo y las aplicaciones que se ejecutan en el. 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 reúsa 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 mas 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 especificas para su futura

construcción y aplicación en situaciones de inspección 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 inspección 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 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 n 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: “Diagnosticar las necesidades que presentan los equipos de rescate pertenecientes a 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: “ Analizar el funcionamiento de los robots modulares, reconfigurables en operaciones de búsqueda y rescate ”**

Una vez conocidas las necesidades de los rescatistas, se requiere del análisis de la estructura y funcionamiento de robots previamente diseñados e implementados en operaciones de búsqueda y rescate, con la intención de tomar en cuenta resultados y conclusiones anteriores. De esta manera, se puede evitar cometer errores previos y tener un punto de partida para el diseño conceptual del sistema que se desea crear. En la presente fase, se realizará una revisión documental de trabajos previos relacionados para el estudio a profundidad de diseños previos.

**Fase III: “Diseñar el robot modular y cooperativo en un ambiente virtual.”**

Teniendo un punto de partida, se seleccionarán de manera específica cada una de las características del robot modular y cooperativo a diseñar y los componentes que utilizará. Para ello se hará uso del software de simulación V-REP en conjunto con el middleware de código abierto ROS. El resultado de la presente fase será la descripción del robot en cuestión junto con la visualización del modelo tridimensional del mismo en el ambiente virtual perteneciente a V-REP.

**Fase IV: “Comprobar el funcionamiento del modelo elaborado a través de una simulación.”**

A continuación, se comprueba el funcionamiento del diseño elaborado en la fase anterior. Para ello, se realizará un estudio por simulación, el cual 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. Para finalizar, se presentarán e interpretarán los resultados obtenidos de las pruebas y se recomendará un futuro curso de acción para posteriores avances o la construcción del diseño en cuestión.

**CAPÍTULO IV**

**RECURSOS**

**4.1 Recursos Humanos**

Los recursos humanos involucrados en la participación de este proyecto lo conforman los miembros organizadores del laboratorio de mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar (3). Al mismo tiempo, esta investigación es sujeta a supervisión del tutor académico, Ing. Wilmer Sanz y el tutor metodológico Ing. Alicia Pizzella.

**4.2 Recursos Interinstitucionales**

Los recursos interinstitucionales con los cuales se desarrollara la investigación, está compuesta en primer lugar por el laboratorio de mecatrónica de la Universidad Simón Bolívar, debido a que otorgará la oportunidad de hacer uso de sus instalaciones para la realización del presente proyecto, así como la distribución de todo el software y material bibliográfico que éste tiene a su disposición en beneficio del presente proyecto. De igual forma, la agrupación Bomberos Voluntarios USB, que permitirá conocer su situación actual, procedimientos y actividades relacionadas a su labor.

Conjuntamente, la Universidad José Antonio Páez, que gracias a sus instalaciones, brindan un espacio para realizar las diferentes reuniones para el intercambio de información. Por otro lado, los espacios de dicha universidad otorgaran la posibilidad de recibir instrucciones, información y aumentar el desarrollo metodológico de la investigación.

**4.3 Recursos Materiales**

Bajo la perspectiva de estudio, los recursos materiales acoplados a esta investigación son: material de oficina (hojas blancas, lápices, borradores, sacapuntas, reglas, grapas, grapadora), computadoras y calculadora. Así mismo, se cuenta con los programas informáticos especializados requeridos para el cumplimiento de los objetivos, los cuales son: V-REP (v.3.6) y ROS (v.12 – Melodic Morenia).

**4.4 Cronograma de Actividades**

**Tabla 1.** Cronograma de Actividades

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Fase** | **Tiempos Estimados** | | | | | | | |
|  |  | **2019** | | **2020** | | | | | |
|  |  | **Nov.** | **Dec.** | **Ene.** | **Feb.** | **Mar.** | **Abr.** | **May.** | **Jun.** |
| **1** | **Diagnosticar las necesidades que presentan los equipos de rescate de la USB** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2** | **Analizar el funcionamiento de los robots modulares, en situaciones de inspección y rescate** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3** | **Diseñar el robot modular y cooperativo en un ambiente virtual** |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4** | **Comprobar el funcionamiento del modelo elaborado través de una simulación.** |  |  |  |  |  |  |  |  |

Elaborado por: Castellano H. (2019)

**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.

Cordie, T.; Bandyyopadhyay, 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].

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].

Fields L. (2013). **Comparación de sistemas de comunicación inalámbrica para robots móviles**. Revista Prisma Tecnológica, volumen 4 (n.1), (24 p.).

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.

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].

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.

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.

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.

Zˇlajpah, L. (2008). **Simulación en Robótica**. [Documento en línea]. Disponible en: https://bit.ly/3bksT3F [Consulta, 3 de Febrero de 2020].